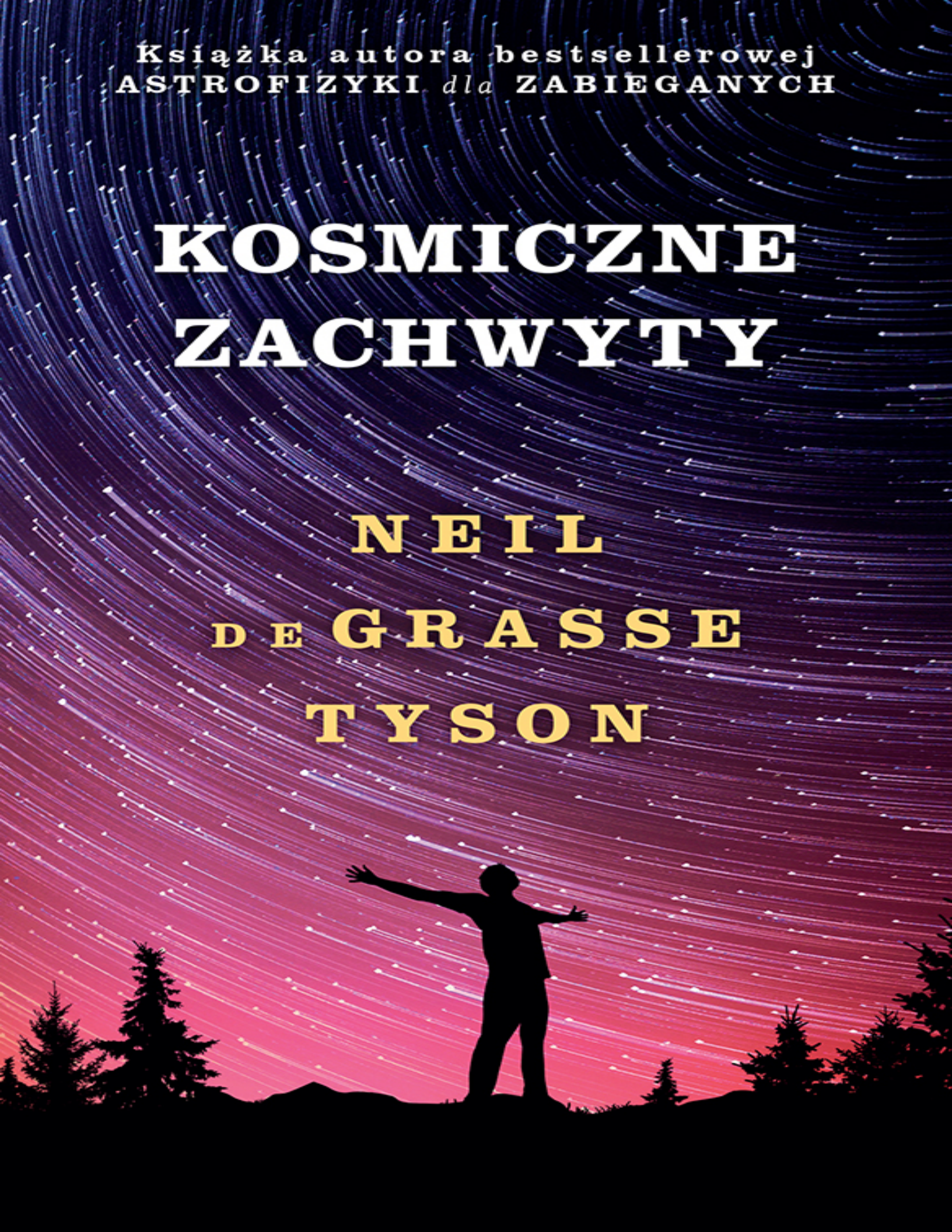
Książka autora bestsellerowej
ASTROFIZYKI *dla* ZABIEGANYCH

KOSMICZNE ZACHWYTY

NEIL
DE GRASSE
TYSON



NEIL

DE GRASSE

TYSON

KOSMICZNE ZACHWYTY

przełożyła

DOMINIKA BRAITHWAITE

Tytuł oryginału
Death by Black Hole and Other Cosmical Quandaries
(Sections 1–3)

Copyright © 2007 by Neil deGrasse Tyson
All rights reserved.

First published in USA 2007, reissued 2014

W. W. Norton & Company, Inc., 500 Fifth Avenue, New York, NY 10110
www.wwnorton.com

W. W. Norton & Company Ltd., 15 Carlisle Street, London W1D 3BS

Przekład
Dominika Braithwaite

Redakcja i opracowanie naukowe
Tomasz Brzozowski

Redakcja i korekta
Maria Brzozowska, Marcin Piątek

Projekt okładki
Pete Garceau

Skład
Tomasz Brzozowski

Przygotowanie wersji elektronicznej
Aleksandra Pieńkosz

Zdjęcie na okładce
Copyright © Brad Goldpaint / Getty Images

Sylwetka na okładce
Copyright © iStock.com

Copyright © for this edition Insignis Media, Kraków 2018
Wszelkie prawa zastrzeżone.

ISBN 978-83-66071-55-1

Insignis Media
ul. Lubicz17D/21–22, 31-503 Kraków

tel. +48 (12) 636 01 90
biuro@insignis.pl, www.insignis.pl
facebook.com/Wydawnictwo.Insignis
twitter.com/insignis_media (@insignis_media)
instagram.com/insignis_media (@insignis_media)
Snapchat: insignis_media

Podejrzewam, że wszechświat jest nie tylko
dziwniejszy, niż sobie wyobrażamy,
ale dziwniejszy, niż potrafimy sobie wyobrazić.

J.B.S. Haldane, *Possible Worlds* (1927)

Przedmowa

Wszechświat nie wydaje mi się zbiorem obiektów, teorii i zjawisk, ale przedstawieniem teatralnym, w którym aktorzy poddają się wymyślnym zwrotom akcji. Pisząc na temat kosmosu, mam więc naturalną potrzebę wprowadzenia czytelników za kulisy tego spektaklu, aby mogli z bliska przyjrzeć się dekoracjom, zerknąć do scenariusza i podpatrzyć, w jakim kierunku rozwinie się sztuka. Nieustannie przyświecającym mi celem jest próba wyjaśnienia funkcjonowania wszechświata, co znacznie wykracza poza zrelacjonowanie suchych faktów. Wszechświat pisze dla nas scenariusz, wedle którego na wzór aktorów czasem musimy się uśmiechnąć, czasem wykrzywić twarz w grymasie, a nawet przerazić się nie na żarty, kiedy się tego od nas wymaga. Zbiory *Kosmiczne zachwyty* i *Kosmiczne rozterki* w moim przekonaniu otwierają czytelnikom perspektywę tego, co nas w kosmosie wzrusza, poucza i przeraża.

Każdy rozdział tej książki pojawił się wcześniej w tej czy innej formie na łamach magazynu „Natural History” w kolumnie „Universe” w latach 1995–2005. *Kosmiczne zachwyty* i *Kosmiczne rozterki* są w pewnym sensie listą przebojów tej kolumny i zawierają eseje, do których napisania najbardziej mnie nakłaniano. Wprowadzono do nich drobne zmiany redakcyjne oraz modyfikacje uwzględniające najnowsze trendy w nauce.

Oddaję ten zbiór w Wasze ręce, Drodzy Czytelnicy. Być może okaże się on miłą odmianą w Waszym codziennym życiu.

Neil deGrasse Tyson
Nowy Jork
październik 2006

Dokument chroniony elektronicznym znakiem wodnym

Zakupione w nexto: 2794416

Podziękowania

Moje oficjalne kompetencje – jeśli chodzi o znajomość wszechświata – obejmują głównie gwiazdy, ich ewolucję oraz strukturę galaktyk. Szeroki zakres tematów podejmowanych w tym zbiorze znacznie wykracza poza moją wiedzę i nie mógłbym w sposób odpowiedzialny pisać comiesięcznych felietonów bez pomocy moich kolegów. Ich komentarze inspirowane najnowszymi odkryciami kosmicznymi niejednokrotnie sprawiały, że dana idea nabierała całej gamy nowych znaczeń. Za wsparcie w kwestiach dotyczących Układu Słonecznego dziękuję Rickowi Binzelowi, mojemu koledze z lat studiów, dziś profesorowi planetologii w Massachusetts Institute of Technology. Niestrudzenie odpowiadał na moje liczne telefony, kiedy to, co pisałem lub miałem zamiar napisać o planetach i ich otoczeniu, należało skonfrontować z rzeczywistością.

Jestem również wdzięczny za pomoc wielu innym osobom, w tym profesorom wydziału Astrofizyki Uniwersytetu Princeton: Bruce’owi Draine’owi, Michaelowi Starussowi oraz Davidowi Spergelowi. Ich wiedza na temat kosmochemii, galaktyk i kosmologii pozwoliła mi na opisanie wielu różnych miejsc we wszechświecie. Spośród moich współpracowników największy wkład w ten zbiór esejów miał Robert Lupton z Princeton, który odebrał staranne wykształcenie w Anglii, przez

co zawsze mam wrażenie, że wie wszystko o wszystkim. Robert przywiązuje niezwykłą wagę do szczegółów, tak od strony naukowej, jak i literackiej i dzięki jego redakcji, na którą mogłem liczyć co miesiąc, to, co napisałem, zyskiwało na wartości. Kolejną osobą nadzorującą moje prace jest mój kolega Steven Soter, człowiek o niezwykle rozległej wiedzy, bez którego uwag moje felietony nigdy nie są kompletne.

Podziękowania należą się też osobom ze świata literatury, przede wszystkim Ellen Goldensohn, mojej pierwszej redaktorce, która po wysłuchaniu jednego z moich wywiadów w publicznej stacji radiowej zaprosiła mnie w 1995 roku do tworzenia kolumny w magazynie „Natural History", na co natychmiast się zgodziłem. Do dziś jest to jednocześnie najbardziej wykańczające i ekscytujące z moich zajęć. Pracę rozpoczętą przez Ellen kontynuuje dziś Avis Lang, moja obecna redaktorka, która niestrudzenie czuwa nad tym, abym mówił dokładnie to, o co mi chodzi, i odpowiednio ubierał myśli w słowa. Jestem im obu niezmiernie wdzięczny za czynienie ze mnie coraz lepszego pisarza. Nad ostateczną wersją lub poprawą jednego lub kilku z zebranych tutaj esejów pracowali także Philip Branford, Bobby Fogel, Ed Jenkins, Ann Rae Jonas, Betsy Lerner, Mordecai Mark Mac-Low, Steve Napear, Michael Richmond, Bruce Stutz, Frank Summers oraz Ryan Wyatt. Kyrie Bohin-Tinch, wolontariuszka z Planetarium Haydena, zdobyła się na heroiczny wysiłek uporządkowania tej książki. Chciałbym również wyrazić moją wdzięczność wobec Petera Browna, redaktora naczelnego „Natural History", za jego nieustanne wsparcie dla moich pisarskich wysiłków oraz za wyrażenie zgody na przedrukowanie wybranych przeze mnie esejów w niniejszym zbiorze.

Moje podziękowania byłyby niepełne, gdybym nie uwzględnił w nich Stephena Jaya Goulda, który na łamach „Natural History" opublikował trzysta esejów pod wspólnym tytułem *This View of Life*. Przez siedem lat –

od 1995 do 2001 roku – obaj pracowaliśmy dla magazynu i nie było takiego miesiąca, w którym jego obecność pozostałaby dla mnie niezauważona. Bez wahania można powiedzieć, że Stephen wypracował zasady pisania nowoczesnego eseju i jego wpływ na moje prace jest nie do przecenienia. Za każdym razem kiedy jestem zmuszony zagłębić się w historię nauki, staram się dotrzeć do rzadkich egzemplarzy starych ksiąg, tak jak często czynił Gould, i przewracając ich delikatne stronice, korzystam z bogactwa wiedzy naszych przodków i ich prób zrozumienia świata. Przedwczesna śmierć Goulda w wieku zaledwie sześćdziesięciu lat, podobnie jak odejście sześćdziesięciodwuletniego Carla Sagana, pozostawiły w świecie nauki pustkę, której nie udało się dotąd zapełnić.

Kosmiczne zachwyty

Prolog

Początki nauki

Sukcesy praw fizyki w wyjaśnianiu zachodzących w otaczającym nas świecie zjawisk często wpływają na formułowanie aroganckich sądów o stanie ludzkiej wiedzy – że to, czego jeszcze nie wiemy, to niemające wielkiego znaczenia szczegóły. Nawet niektórzy laureaci Nagrody Nobla i inni szacowni naukowcy nie uniknęli tej pułapki i narazili się na kompromitację.

Jedną ze słynnych proklamacji końca nauki wygłosił w 1894 roku podczas ceremonii otwarcia Laboratorium Fizycznego Ryersona na Uniwersytecie w Chicago późniejszy noblista Albert A. Michelson. Powiedział wówczas:

> Najważniejsze z fundamentalnych praw i twierdzeń fizyki zostały już poznane i jednoznacznie potwierdzone, zatem wyparcie ich przez inne nowe zasady jest bardzo mało prawdopodobne. (…) Przyszłych odkryć należy oczekiwać na poziomie szóstego miejsca po przecinku.

Współczesny Michelsonowi genialny astronom Simon Newcomb, współzałożyciel Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego, nieco wcześniej, bo w 1888 roku, wyraził podobne do Michelsona poglądy, pisząc: „Najprawdopodobniej dochodzimy do kresu wszystkiego, czego

można się dowiedzieć w astronomii”. Zbytnią pewnością siebie wykazał się nawet wielki fizyk lord Kelvin (na cześć którego nazwano bezwzględną skalę temperatury), który w 1901 roku stwierdził: „W fizyce nie ma już nic nowego do odkrycia. Jedyne, co nam pozostało, to coraz dokładniejsze pomiary”. Wszystkie te stwierdzenia padły w czasach, kiedy uważano, że światło w kosmosie rozchodzi się w ośrodku zwanym eterem, a niewielka różnica pomiędzy obserwowanym a wynikającym z obliczeń obiegiem Merkurego wokół Słońca wciąż pozostawała niewyjaśniona. Takie rozterki wydawały się w tamtych czasach drobnostkami i zakładano, że przy niewielkich modyfikacjach istniejących praw fizyki uda się je wyjaśnić.

Na szczęście Max Planck, jeden z twórców mechaniki kwantowej, był nieco bardziej przezorny niż przestrzegający go w 1874 roku nauczyciel, którego słowa wspominał w wykładzie z 1924 roku:

> Kiedy po rozpoczęciu studiów fizycznych udałem się do mojego czcigodnego nauczyciela Philippa von Jolly’ego po poradę, (…) przedstawił mi fizykę jako dobrze rozwiniętą i niemal w pełni poznaną naukę. (…) Może w którymś zakamarku czaiła się jeszcze jakaś pojedyncza cząsteczka kurzu albo mały bąbel, który należało zbadać i sklasyfikować. Jednak systemowi jej zasad właściwie nic nie zagrażało, a fizyka teoretyczna osiągnęła niemal taki stan doskonałości, jaki od wieków posiadała na przykład geometria.

Początkowo Planck nie miał powodów, aby podważać poglądy swego mentora. Jednak kiedy okazało się, że klasyczne wyjaśnienie promieniowania cieplnego materii jest nie do pogodzenia z wynikami eksperymentu, Planck stał się w 1900 roku przypadkowym rewolucjonistą, postulując istnienie kwantu – niepodzielnej porcji energii. Otworzyło to zupełnie nowy rozdział w fizyce. W ciągu kolejnych trzydziestu lat sformułowane zostały szczególna i ogólna teoria względności, pojawiła się mechanika kwantowa i odkryto zjawisko rozszerzania się wszechświata.

Biorąc pod uwagę krótkowzroczność niektórych jego poprzedników, mogłoby się wydawać, iż błyskotliwy i bardzo twórczy fizyk Richard Feynman nie wpadnie w tę samą pułapkę. W swej znakomitej książce pod tytułem *Charakter praw fizycznych* pisze on jednak:

> Mamy szczęście, że żyjemy w epoce wielkich odkryć. (…) Obecnie odkrywamy podstawowe prawa natury i ten okres nigdy się już nie powtórzy. To cudowne, podniecające czasy, ale kiedyś się skończą.

Nie twierdzę, że wiem, kiedy i gdzie nastąpi koniec nauki, ani czy kiedykolwiek do tego dojdzie. Wiem natomiast, że jesteśmy głupsi, niż potrafimy to przed sobą przyznać. To bardziej ograniczenia naszych zdolności umysłowych niż nauki jako takiej przekonują mnie, że dopiero zaczynamy odkrywanie wszechświata.

Załóżmy na chwilę, że ludzie są najinteligentniejszym gatunkiem na Ziemi. Jeśli na potrzeby dyskusji zdefiniujemy inteligencję jako umiejętność abstrakcyjnego matematycznego myślenia, to moglibyśmy stwierdzić, że ludzkość jako jedyna posiada tę cechę.

Jakie są szanse, że pierwszy i jedyny inteligentny gatunek w historii jest wystarczająco mądry, aby w pełni zrozumieć zjawiska zachodzące w kosmosie? Szympansy są ewolucyjnie tylko o krok za nami, a mimo to – jak długo byśmy je uczyli – raczej nie opanują trygonometrii. Spróbujmy sobie jednak wyobrazić, że na Ziemi lub gdzie indziej w kosmosie istnieje gatunek o tyle inteligentniejszy od człowieka, o ile człowiek przewyższa inteligencją szympansa. W jakim stopniu byłby on w stanie zrozumieć wszechświat?

Znający grę w kółko i krzyżyk wiedzą, że jej zasady są na tyle trywialne, iż jeśli wykona się odpowiedni ruch na początku, to albo się wygrywa, albo blokuje przeciwnika do końca rozgrywki. Małe dzieci jednak grają w tę grę tak, jakby jej wyniku nie dało się przewidzieć. Reguły

gry w szachy też są proste i przejrzyste, ale przewidzenie sekwencji ruchów przeciwnika staje się tym trudniejsze, im dłużej trwa pojedynek. Nawet dla bardzo sprytnych i utalentowanych dorosłych gra w szachy jest więc sporym wyzwaniem i trudno przewidzieć, jak się zakończy.

Jednym z najmądrzejszych ludzi w historii był według mnie Isaac Newton. Ta opinia nie jest zresztą odosobniona. Na jego popiersiu w Trinity College w Anglii widnieje inskrypcja *Qui genus humanum ingenio superavit,* co w tłumaczeniu z łaciny oznacza mniej więcej: „największy intelekt wśród ludzi". Newton podsumował stan swojej wiedzy w następujący sposób:

> Nie wiem, co myślą o mnie inni. Ja postrzegam siebie jako małego chłopca, bawiącego się na plaży i cieszącego się ze znalezienia od czasu do czasu gładszego kamyka albo muszelki ładniejszej od innych, podczas gdy tuż obok znajduje się wielki ocean ukrytych przede mną prawd.

Kosmos jest jak gra w szachy, której zasady są tylko częściowo znane. Czasem zachowuje się on w sposób bardzo tajemniczy, trochę tak, jakby podporządkowywał się jakimś sekretnym, niejawnym regułom, których nie ma w spisanej do tej pory instrukcji.

Umiejętność odróżniania wiedzy o obiektach i zjawiskach przebiegających w oparciu o znane prawa fizyki od znajomości tychże praw leży u podstaw wszystkich przekonań, że nauka ma się ku końcowi. Odkrycie życia na Marsie lub pod lodową powłoką księżyca Jowisza, Europy, byłoby niewątpliwie największym odkryciem wszech czasów. Jednak własności fizyczne i chemiczne atomów znalezionych tam form życia byłyby zapewne takie same jak atomów tworzących ziemskie organizmy żywe. Nie potrzebowalibyśmy więc żadnych nowych praw.

Rzućmy jednak okiem na kilka nierozwiązanych problemów z newralgicznych obszarów współczesnej astrofizyki, które pokazują, jak

rozległa jest nasza niewiedza. Ich rozwikłanie z dużym prawdopodobieństwem wpłynie na odkrycie zupełnie nowych dziedzin fizyki.

Choć mamy bardzo dużą pewność co do słuszności teorii Wielkiego Wybuchu jako modelu ewolucji wszechświata, to na temat tego, co znajduje się poza kosmicznym horyzontem, oddalonym od nas przynajmniej o 13,7 miliarda lat świetlnych, możemy tylko spekulować. To, co wydarzyło się przed Wielkim Wybuchem, i dlaczego musiał on nastąpić, pozostaje w strefie domysłów. Niektóre hipotezy formułowane w oparciu o zaawansowane teorie mechaniki kwantowej sugerują, że nasz rozszerzający się kosmos powstał wskutek pojedynczej fluktuacji pierwotnej piany czasoprzestrzennej, a wiele innych fluktuacji dało początek niezliczonej liczbie innych wszechświatów.

Kiedy próbujemy komputerowo symulować setki miliardów galaktyk w czasie krótko po Wielkim Wybuchu, dane z wczesnych i późnych etapów powstawania kosmosu nie zgadzają się ze sobą. Spójny opis początków wszechświata i ewolucji jego wielkoskalowej struktury nadal nam umykają i wszystko wskazuje na to, że jakieś elementy tej układanki nie zostały jeszcze poznane.

Sprawdzające się doskonale przez setki lat prawa ruchu i grawitacji Newtona zostały zastąpione prawami ruchu i grawitacji Einsteina, czyli teoriami względności, w które dziś nikt już nie wątpi. Powszechną akceptacją cieszy się też opisująca kosmos na poziomie atomowym i subatomowym mechanika kwantowa. Tyle tylko, że teoria względności Einsteina w postaci, w jakiej została pierwotnie sformułowana, jest nie do pogodzenia z fizyką kwantową, bowiem każda z nich przewiduje inne zjawiska dla obszaru, w którym się zazębiają. Któraś z nich musi dać za wygraną. Albo jakaś jeszcze nieodkryta część teorii Einsteina potwierdzi

prawdziwość założeń mechaniki kwantowej, albo istnieje jakiś brakujący element mechaniki kwantowej, który pozwoli zaakceptować teorię względności.

A może potrzeba jeszcze ogólniejszej teorii, która te dwie połączy i w rezultacie zastąpi? Właśnie w tym celu została opracowana teoria strun. Sprowadza ona kwestię istnienia materii, energii i ich wzajemnych oddziaływań do wibrujących w wielu wymiarach strun energii. W naszej mizernej czasoprzestrzeni rozmaite drgania przybierają postać różnych cząstek i sił. Choć teoria strun od ponad dwudziestu lat ma zagorzałych zwolenników, jej założeń jak na razie nie udało się eksperymentalnie potwierdzić. Jednak mimo rosnącego sceptycyzmu niektórzy nadal wierzą, że uda się ją zweryfikować.

Nadal nie wiemy, co umożliwiło uformowanie się z nieożywionej materii żywych organizmów. Może istnieje jakiś mechanizm lub prawo chemiczne dotyczące samoorganizacji, którego nie znamy? Nie dysponujemy przecież niczym, do czego można by porównać ziemską biologię, więc nie możemy ocenić, co jest konieczne do powstania życia, a co nie odgrywa w tym żadnej roli.

Od momentu ogłoszenia nowatorskich prac Edwina Hubble’a w latach dwudziestych minionego wieku wiemy, że kosmos się rozszerza, a niedawno odkryliśmy, że dodatkowo przyspiesza pod wpływem ujemnego ciśnienia zwanego „ciemną energią”. Obecnie nie mamy nawet roboczych hipotez, które pomogłyby nam ją zrozumieć.

Bez względu na to, jak bardzo jesteśmy przekonani o słuszności naszych badań, eksperymentów, danych czy teorii, zawsze powinniśmy pamiętać, że 85 procent siły grawitacyjnej w kosmosie pochodzi z nieznanego, tajemniczego źródła, które opiera się wszystkim dotychczas wynalezionym narzędziom obserwacji. W tej chwili można się domyślać,

że w źródle tym nie ma zwykłych cząstek, takich jak elektrony, protony czy neutrony, ani żadnych oddziałujących z nimi rodzajów materii i energii. Ten efemeryczny i gorszący twór wciąż pozostaje wielką niewiadomą i nazywany jest „ciemną materią”.

Czy brzmi to tak, jakby miał nastąpić koniec nauki? Czy powinno nam się wydawać, że wszystko już wiemy i że możemy sobie pogratulować? Według mnie jest dokładnie na odwrót – jesteśmy nieporadnymi durniami, przypominającymi naszego kuzyna szympansa próbującego zrozumieć prawo Pitagorasa.

Może jestem trochę niesprawiedliwy wobec *Homo sapiens* i analogia z szympansem jest nieco przesadzona. Może nie chodzi o to, jak inteligentni są pojedynczy przedstawiciele danego gatunku, ale o to, jakim zbiorczym potencjałem inteligencji on dysponuje. Ludzie nieustannie dzielą się i wymieniają swoimi odkryciami podczas konferencji, w publikacjach i w mediach, w tym także przez internet. W przeciwieństwie do napędzanej przez selekcję naturalną ewolucji darwinowskiej rozwój kultury w dużej mierze przebiega zgodnie z teorią ewolucji Lamarcka; nowe pokolenia otrzymują w spadku wszystkie dokonania przodków, dzięki czemu nasze poznawanie kosmosu może akumulować się bez końca.

Każde odkrycie naukowe staje się dzięki temu kolejnym szczeblem na drabinie wiedzy, której końca nie widać, bo cały czas ją konstruujemy. Jestem przekonany, że wspinając się po niej, zawsze będziemy szukać rozwiązań kolejnych zagadek wszechświata, jedna po drugiej.

1

Nie postradaliśmy zmysłów

> Nauka to przygoda, w której człowiek wyposażony w pięć zmysłów odkrywa otaczający go wszechświat.
>
> Edwin P. Hubble (1889–1953), The Nature of Science

Spośród pięciu zmysłów wzrok jest wyjątkowy. Oczy pozwalają nam rejestrować informacje nie tylko z miejsca, w którym się znajdujemy, ale także te docierające do nas z całego wszechświata. Bez zmysłu wzroku astronomia jako nauka nigdy by się nie narodziła, a możliwości określania naszego położenia we wszechświecie byłyby niesamowicie ubogie. Pomyślcie tylko, jak to jest z nietoperzami. Jeśli przekazują sobie z pokolenia na pokolenie jakieś sekretne informacje, to z pewnością nie dotyczą one wyglądu nocnego nieba.

Jeśli potraktujemy nasze zmysły jako zestaw narzędzi do eksperymentowania, to zauważymy, że ich czułość i zakres wrażliwości są doprawdy nadzwyczajne. Ludzkie uszy są w stanie zarejestrować zarówno ogłuszający huk wystrzeliwanej w kosmos rakiety, jak i bzyczenie komara latającego w odległości kilkudziesięciu centymetrów od naszej głowy. Zmysł dotyku pozwala nam odczuć nie tylko ciężar kuli do kręgli spadającej na nasz palec u nogi, ale również jednomiligramowego robaczka

pełznącego po naszym ramieniu. Niektórzy z przyjemnością zajadają się papryczkami habanero, inni zaś – ci wrażliwsi – obecność nowego smaku wyczuwają już przy jednej jego cząsteczce na milion. Nasze oczy z kolei potrafią zarejestrować obraz jasnej piaszczystej plaży w słoneczny dzień z taką samą łatwością, z jaką dostrzegają płomień zapałki w ciemnej sali z odległości kilkudziesięciu metrów.

Ale zanim wpadniemy w samouwielbienie, warto przypomnieć, że im szerszy jest zakres postrzegania, tym mniejsza jego precyzja, rejestrujemy bowiem docierające do nas bodźce w sposób logarytmiczny, a nie liniowy. Kiedy na przykład zwiększymy dziesięciokrotnie energię dźwięku, nasze uszy odnotują raczej niewielką różnicę. Przy wzroście o czynnik wynoszący dwa różnica jest praktycznie niezauważalna. Podobnie jest w przypadku naszych „zmysłowych" zdolności pomiaru natężenia światła. Jeśli kiedykolwiek mieliście okazję obserwować całkowite zaćmienie Słońca, to pewnie zauważyliście, że tarcza słoneczna musi zostać zakryta przez Księżyc przynajmniej w 90 procentach, zanim ktokolwiek zauważy, że niebo pociemniało. Ogrom skali jasności gwiazd, powszechnie znany zakres poziomu natężenia dźwięku w decybelach oraz sejsmiczna skala intensywności trzęsień ziemi wyrażane są w skali logarytmicznej, częściowo z uwagi na nasze biologiczne uwarunkowania widzenia, słyszenia i odczuwania zjawisk właśnie w taki sposób.

*

Czy jest jeszcze coś oprócz zmysłów? Czy istnieje jakiś środek poznania wykraczający poza płaszczyznę łączącą naszą biologię z otoczeniem?

Warto zauważyć, że choć człowiek jako mechanizm dobrze radzi sobie z rozpoznawaniem podstawowych cech najbliższego otoczenia – na

przykład odróżnia dzień od nocy albo wie, kiedy jakieś stworzenie chce go zjeść – to bez instrumentów naukowych jest wyjątkowo nieporadny, jeśli chodzi o odszyfrowywanie praw rządzących resztą naturalnego świata. Aby zgłębić te tajemnice, potrzebujemy innych receptorów niż te, z którymi się urodziliśmy. Zadaniem aparatury naukowej niemal zawsze jest wyjść poza zakres dostępny naszym zmysłom.

Niektórzy ludzie szczycą się posiadaniem szóstego zmysłu, dzięki któremu rzekomo wiedzą lub widzą rzeczy nieosiągalne dla innych. W czołówce osób deklarujących posiadanie nadprzyrodzonych zdolności są wróżbici, jasnowidze i mistycy. Poprzez swoją działalność popularyzują oni zataczającą coraz szersze kręgi fascynację tym tematem, szczególnie wśród wydawców książek i producentów telewizyjnych. Kontrowersyjna sfera parapsychologii opiera się na oczekiwaniach, że przynajmniej niektórzy ludzie faktycznie posiadają tego typu umiejętności. Dla mnie największą zagadką jest to, dlaczego tak wielu jasnowidzów wybiera pracę przy telefonie dla widzów programów telewizyjnych zamiast zbijać fortunę przy zawieraniu kontraktów na Wall Street. Co ciekawe, nikt z nas nie spotkał się jeszcze z tytułem prasowym w stylu: „Wróżbita wygrywa główną nagrodę w loterii”.

Oprócz tej niewyjaśnionej zagadki także konsekwentne porażki kontrolowanych, podwójnie ślepych prób udowodnienia zasadności założeń parapsychologii wskazują, że to raczej pomieszanie zmysłów niż szósty zmysł.

Jednocześnie współczesna nauka wykorzystuje dziesiątki różnych sposobów rejestrowania bodźców. Tyle że naukowcy wcale przy tym nie twierdzą, iż są w posiadaniu mocy nadprzyrodzonych – mają po prostu specjalistyczny sprzęt. Przyrządy przekształcają dane, pozyskane dzięki tym dodatkowym sposobom odbierania bodźców, do postaci tabel,

wykresów, diagramów lub obrazów, i dopiero je możemy interpretować dzięki naszym wrodzonym zmysłom. W serialu science fiction *Star Trek: Seria oryginalna* teleportująca się na niezbadaną dotąd planetę załoga przy opuszczaniu statku kosmicznego zawsze zabierała ze sobą tricorder – podręczny przyrząd do analizowania podstawowych własności wszystkiego, co tylko mogła napotkać, i to zarówno przedmiotów martwych, jak i istot żywych. Umieszczenie tricordera nad danym obiektem powodowało, że urządzenie wydawało wyraźny kosmiczny dźwięk przeznaczony do dalszej interpretacji przez użytkownika.

Załóżmy, że ląduje przed nami świecąca masa jakiejś substancji nieznanego pochodzenia. Bez narzędzi diagnostycznych podobnych do tricordera nie jesteśmy w stanie powiedzieć niczego na temat jej składu chemicznego czy atomowego. Nie możemy też stwierdzić, czy owa masa nie generuje przypadkiem pola elektromagnetycznego ani czy emituje silne promieniowanie gamma, rentgenowskie, ultrafioletowe, mikrofalowe bądź radiowe. Niemożliwe byłoby również określenie struktury komórkowej i krystalicznej takiej masy. Gdyby zaś znajdowała się daleko w przestrzeni kosmicznej, będąc dla nas nieznanym źródłem światła na niebie, dzięki naszym pięciu zmysłom nie dowiedzielibyśmy się, w jakiej jest od nas odległości, z jaką prędkością się przemieszcza ani jaka jest jej prędkość obrotowa. Co więcej, nie mielibyśmy także możliwości zaobserwowania widma barw składających się na emitowane przez nią światło ani nie zdołalibyśmy się dowiedzieć, czy jest ono spolaryzowane.

Jeśli nie mielibyśmy oprzyrządowania wspomagającego naszą analizę i nie pałali szczególną chęcią polizania tej substancji, moglibyśmy tylko zaraportować, co następuje: „Kapitanie, znaleźliśmy jakąś masę”. Edwin P. Hubble musi nam wybaczyć, ale cytat otwierający ten rozdział, choć trafny i poetycki, powinien raczej brzmieć:

> Nauka to przygoda, w której człowiek wyposażony w pięć zmysłów oraz teleskopy, mikroskopy, spektrometry masowe, sejsmografy i magnetometry, akceleratory cząstek i detektory promieniowania elektromagnetycznego odkrywa otaczający go wszechświat.

Wyobraźmy sobie, o ile bogatszy wydawałby się nam świat i o ile szybciej zostałaby odkryta natura kosmosu, gdybyśmy rodzili się z ultraprecyzyjnymi gałkami ocznymi z możliwością przestrajania. Wybranie z całego widma zakresu fal radiowych skutkowałoby tym, że jasne dzienne niebo stawałoby się ciemne jak w środku nocy. Byłoby ono upstrzone intensywnymi, powszechnie znanymi źródłami promieniowania elektromagnetycznego w tym zakresie, takimi jak centrum Drogi Mlecznej położone za kilkoma głównymi gwiazdami konstelacji Strzelca. Przestrojenie się na mikrofale sprawiałoby, że kosmos zapłonąłby pozostałościami wczesnego wszechświata – ścianą świateł powstałą trzysta osiemdziesiąt tysięcy lat po Wielkim Wybuchu. Gdybyście zaś przestawili wzrok na zakres promieniowania rentgenowskiego, moglibyście niezwłocznie zlokalizować czarne dziury wraz z materią zapadającą się w nie spiralnym ruchem, a zmiana na promieniowanie gamma umożliwiłaby wam obserwację gigantycznych eksplozji rozbłyskujących tu i ówdzie w całym wszechświecie z częstotliwością przynajmniej jednej na dzień. Wpływ tych eksplozji na otaczającą materię, która nagrzewa się i jarzy w innych pasmach promieniowania, również byłby dobrze widoczny.

Gdybyśmy się rodzili z detektorami pola magnetycznego, nigdy nie wynaleźlibyśmy kompasu, bo w ogóle byśmy go nie potrzebowali. Wystarczyłoby się ustawić w kierunku linii pola magnetycznego Ziemi, a magnetyczna północ pojawiłaby się na horyzoncie jak kraina Oz. Jeśli dysponowalibyśmy wbudowanymi w siatkówkę analizatorami widma, to nie musielibyśmy się zastanawiać, czym oddychamy. Jedno spojrzenie na

odczyt i wiedzielibyśmy, czy powietrze zawiera konieczną dla podtrzymania ludzkiego życia ilość tlenu. Tysiące lat wcześniej dowiedzielibyśmy się także, że gwiazdy i mgławice Drogi Mlecznej zawierają te same pierwiastki chemiczne co Ziemia.

A gdyby nasze oczy były bardzo duże i miały wbudowane czujniki ruchu wykorzystujące efekt Dopplera, to od razu zauważylibyśmy, nawet będąc jeszcze pomrukującymi troglodytami, że kosmos się rozszerza – widzielibyśmy, że odległe galaktyki coraz bardziej się od nas oddalają.

Gdyby nasze oczy posiadały rozdzielczość najlepszych mikroskopów, nikt nigdy nie uznałby epidemii dżumy czy innych chorób za konsekwencję bożego gniewu. Wywołujące je bakterie i wirusy, pełzające po naszym jedzeniu lub wślizgujące się przez otwarte rany do naszego ciała, widzielibyśmy jak na dłoni. Dzięki prostym eksperymentom bylibyśmy w stanie określić, które z nich są złe, a które dobre. No i oczywiście problem pooperacyjnych infekcji zostałby poznany i rozwiązany setki lat wcześniej.

Dzięki umiejętności dostrzegania cząstek wysokoenergetycznych moglibyśmy z dużych odległości identyfikować substancje radioaktywne. Niepotrzebne okazałyby się wówczas liczniki Geigera. Potrafilibyśmy także sami zobaczyć przenikający przez podłogę w naszej piwnicy gazowy radon i nie musielibyśmy już płacić za sprawdzanie mieszkań pod tym kątem.

*

Doskonalenie naszych zmysłów od momentu narodzin przez okres dzieciństwa pozwala nam, osobom dorosłym, osądzać, czy zdarzenia i zjawiska zachodzące w naszym życiu „mają sens”. Sęk w tym, że bardzo niewiele odkryć naukowych ostatniego stulecia było wynikiem

bezpośredniego wykorzystania pięciu ludzkich zmysłów. Były one raczej efektem zastosowania wykraczającego poza zakres naszych zmysłów sprzętu oraz matematyki. To właśnie dlatego dla przeciętnego człowieka teoria względności, fizyka cząstek oraz teoria strun „nie mają sensu”. Do tej listy można by jeszcze dopisać czarne dziury, tunele czasoprzestrzenne i Wielki Wybuch. Właściwie dla naukowców te idee też nie miałyby większego sensu, dopóki nie mogliby badać wszechświata wystarczająco długo z wykorzystaniem wszystkich technologicznie dostępnych metod detekcji. Dzięki nim ostatecznie wchodzimy na nowy, wyższy poziom „zdrowego rozsądku”, który otwiera przed badaczami możliwość kreatywnego myślenia i formułowania sądów na temat mało intuicyjnej skali atomowej lub wymagającej nie lada wyobraźni przestrzeni wielowymiarowej. Dwudziestowieczny fizyk niemiecki Max Planck w podobnym duchu skomentował odkrycia fizyki kwantowej:

> Współczesna fizyka zaskakuje nas szczególnie potwierdzeniem odwiecznej prawdy, która uczy, że istnieją rzeczywistości wykraczające poza nasze zmysłowe poznanie, a kiedy te rzeczywistości okazują się dla nas ważniejsze niż najpiękniejsze skarby ze świata doświadczeń, wówczas pojawiają się problemy i konflikty.

Nasze zmysły przeszkadzają nam nawet wówczas, gdy chcemy udzielić odpowiedzi na głupie metafizyczne pytania, na przykład: „Jeśli w lesie przewraca się drzewo i nie ma wokół nikogo, kto mógłby to usłyszeć, to czy upadając, drzewo wydaje jakiś dźwięk?”. Odpowiadam wtedy: „A skąd wiadomo, że się przewróciło?”. Ale to ludzi irytuje. Proponuję więc bezsensowną analogię. Pytanie: „Jeśli nie można wyczuć tlenku węgla, to skąd wiadomo, że jest obecny?”. Odpowiedź: „Bo padasz martwy”. W dzisiejszych czasach ocenianie rzeczywistości wyłącznie na podstawie tego, co możemy zarejestrować za pomocą pięciu zmysłów, jest bardzo ryzykowne.

Odkrywanie nowych sposobów poznania zawsze oznacza otwarcie nowych okien na wszechświat, co zawdzięczamy dostępowi do rosnącej liczby zmysłów pozabiologicznych. Za każdym razem, kiedy poszerzamy ich wachlarz, odsłania się przed nami nowy poziom wielkości i skomplikowania wszechświata. To tak, jakbyśmy dzięki naszej technologicznej ewolucji stawali się istotami nadwrażliwymi, które korzystając z nowych zmysłów, nigdy nie postradały własnych.

2

Zobaczyć nie znaczy uwierzyć

We wszechświecie tak wiele wydaje się czymś zupełnie innym, niż jest w rzeczywistości, że czasem wręcz podejrzewam istnienie jakiegoś spisku, którego celem jest nieustanne wpędzanie astrofizyków w zakłopotanie. Przykładów takich kosmicznych psikusów jest wiele.

To, że planeta, którą zamieszkujemy, jest kulą, uważamy dziś za coś oczywistego. Jednak przez tysiące lat uczeni byli przekonani, że Ziemia jest płaska. Wystarczy się rozejrzeć. Bez zdjęć z satelitów trudno uwierzyć, że tak nie jest, nawet wtedy, gdy wyglądamy przez okno samolotu. Podobnie jest z wszystkimi gładkimi powierzchniami w geometrii nieeuklidesowej: każdy wystarczająco mały obszar zakrzywionej powierzchni wydaje się płaski. Dawno temu, kiedy ludzie nieczęsto opuszczali miejsce, w którym się urodzili, idea płaskiej Ziemi utwierdzała ich w narcystycznym przeświadczeniu, że miejsce ich zamieszkania jest centrum wszystkiego, a wyznaczający krańce świata horyzont leży tak samo daleko w każdym kierunku. Nietrudno się domyślić, że niemal na każdej mapie płaskiego świata cywilizacja, która ją stworzyła, zajmuje centralne miejsce.

Spójrzmy jednak w górę. Bez teleskopu nie można określić, jak daleko znajdują się gwiazdy. Wschodzą i zachodzą, lecz ich układ nie ulega

zmianie, jakby były przyklejone do wewnętrznej powierzchni ciemnej miski na płatki śniadaniowe odwróconej do góry dnem. Moglibyśmy zatem założyć, że wszystkie gwiazdy dzieli od Ziemi ta sama odległość, jakakolwiek by ona była.

Tak jednak nie jest. Oczywiście nie ma też żadnej miski. Przyjmijmy zatem, że gwiazdy są porozrzucane we wszechświecie to tu, to tam. Ale jak daleko jest „tu” i „tam”? Gołym okiem widać, że najjaśniejsze z gwiazd lśnią ponad sto razy intensywniej niż najciemniejsze. W takim razie te najciemniejsze powinny być sto razy dalej od Ziemi, prawda? Otóż nie.

Rozumując w powyższy sposób, odważnie zakładamy, że wszystkie gwiazdy są z natury jednakowo jasne, co oznaczałoby, że te znajdujące się bliżej są jaśniejsze od tych bardziej od nas oddalonych. Zakres jasności gwiazd jest jednak przeogromny i obejmuje dziesięć rzędów wielkości (czyli dziesięć do potęgi dziesiątej). Najjaśniejsze z gwiazd to zatem niekoniecznie te, które znajdują się najbliżej Ziemi. W rzeczywistości większość gwiazd widocznych na nocnym niebie to bardzo jasne gwiazdy znajdujące się naprawdę daleko.

Skoro większość z obserwowanych przez nas gwiazd jest bardzo jasna, to zapewne są to najbardziej typowe tego typu obiekty w galaktyce.

I znowu – nie.

Bardzo jasne gwiazdy są najrzadsze. W każdym dowolnie wybranym obszarze wszechświata na jedną z nich przypada tysiąc ciemniejszych. Choć są one bardzo od nas odległe, widzimy je właśnie dzięki ich olbrzymiej energii promieniowania.

Załóżmy, że dwie gwiazdy emitują światło o tym samym natężeniu (czyli mają taką samą jasność), ale jedna z nich znajduje się od nas sto razy dalej niż druga. Można zatem oczekiwać, że ta druga będzie się wydawać sto razy jaśniejsza. Niestety, to byłoby zbyt proste. W rzeczywistości

intensywność światła maleje proporcjonalnie do drugiej potęgi (czyli kwadratu) odległości od źródła. W tym wypadku gwiazda bardziej odległa wygląda na dziesięć tysięcy razy (100^2) ciemniejszą niż ta, która znajduje się bliżej. „Prawo odwrotnych kwadratów” działa na czysto geometrycznych zasadach. Rozchodzące się we wszystkich kierunkach światło ulega „rozrzedzeniu” ze względu na rosnącą powierzchnię kulistej powłoki, którą oświetla. Pole powierzchni tej powłoki rośnie wraz z kwadratem jej promienia (jak pamiętamy ze wzoru: Pole = $4\pi r^2$), wymuszając proporcjonalne zmniejszanie się natężenia promieniowania.

*

No dobrze – nie wszystkie gwiazdy znajdują się w takiej samej odległości od nas, nie są też jednakowo jasne, a te, które widzimy, uznajemy za nietypowe. Ale przynajmniej to, że nie zmieniają swojego położenia, jest pewne, prawda? Przez setki lat ludzie żyli w zrozumiałym skądinąd przeświadczeniu, że gwiazdy „mają swoje miejsce”, co potwierdzały takie opiniotwórcze źródła jak *Biblia* („I umieścił je Bóg na sklepieniu nieba”, Księga Rodzaju 1:17), czy *Almagest* Klaudiusza Ptolemeusza, opublikowany około 150 roku naszej ery, gdzie argumenty za brakiem ruchu gwiazd są przedstawiane w sposób dobitny i przekonujący.

Jeśli zezwolimy każdemu z ciał niebieskich z osobna na poruszanie się, to ich odległość od Ziemi musi się zmieniać. Wówczas obserwowana wielkość gwiazd, ich jasność i względne odległości pomiędzy nimi z roku na rok również będą inne. Nie obserwujemy jednak takich zmian. Dlaczego? Bo nie czekamy wystarczająco długo. Edmond Halley (znany dzięki komecie) jako pierwszy zrozumiał, że gwiazdy zmieniają swoje położenie. W 1718 roku porównał ówczesne położenie gwiazd z tym, które

opisał grecki astronom Hipparchos w drugim wieku przed naszą erą. Halley zakładał, że mapy Hipparchosa są dokładne, ale dysponował również perspektywą ponad osiemnastu stuleci, dzięki której mógł porównać „antyczne” położenie gwiazd ze współczesnym sobie. Dzięki temu od razu dostrzegł, że Arktur nie znajduje się tam, gdzie wcześniej. Gwiazda rzeczywiście się przemieściła, ale w ciągu przeciętnego ludzkiego życia zmiana jej położenia była niemożliwa do wykrycia bez pomocy teleskopu.

Spośród wszystkich obiektów na firmamencie siedem nigdy nawet nie udawało, że „zna swoje miejsce”, i wędrowało sobie po rozgwieżdżonym niebie; to dlatego nazwano je *planetes*, co po grecku oznacza „wędrowcy”. Dobrze ich znacie, a w wielu językach dali nazwy kolejnym dniom tygodnia: Merkury, Wenus, Mars, Jowisz, Saturn, Słońce i Księżyc. Wędrowcy ci byli od czasów antycznych słusznie uznawani za bliższych Ziemi, ale jednocześnie twierdzono, że każdy z nich ją okrąża, bowiem to Ziemia miała się znajdować w centrum wszystkiego.

W trzecim wieku przed naszą erą Arystarch z Samos jako pierwszy zaproponował model wszechświata, którego środkiem było Słońce. Jednak wówczas wszyscy parający się tą tematyką byli przekonani, iż bez względu na skomplikowany ruch planet zarówno one, jak i wszystkie gwiazdy w ich tle poruszają się wokół Ziemi. Przecież gdyby Ziemia się poruszała, z pewnością byłoby to dla nas odczuwalne! Powszechnie argumentowano:

- Gdyby Ziemia obracała się wokół własnej osi lub poruszała we wszechświecie, to czy chmury i ptaki na niebie nie musiałyby zostawać daleko w tyle? (A tak nie jest).
- Czy podskakując, nie spadalibyśmy w zupełnie innym miejscu, bo Ziemia podczas skoku przesuwałaby się szybko pod naszymi stopami? (A tak się nie dzieje).

- Gdyby Ziemia wirowała wokół Słońca, to czy kąt, pod którym obserwujemy gwiazdy, nie ulegałby ciągłej zmianie, co pociągałoby za sobą zmianę położenia gwiazd na niebie? (To też nie ma miejsca, a przynajmniej nie jest wyraźnie dostrzegalne).

Materiał dowodowy przeciwników ruchu Ziemi był nie do odparcia. Jeśli chodzi o pierwsze dwa punkty, prace Galileusza udowodniły, że kiedy unosimy się w powietrzu, zarówno my sami, jak i atmosfera oraz wszystko inne wokół porusza się wraz z obracającą się i krążącą po orbicie Ziemią. Z tego samego powodu nie katapultujemy się na sam tył lecącego samolotu i nie wbijamy w drzwi pokładowej toalety, jeśli podskoczymy w przejściu między fotelami. Rozumowanie przedstawione w trzecim punkcie jest całkiem rozsądne poza tym, że gwiazdy znajdują się na tyle daleko, iż obserwacja sezonowych zmian ich pozycji jest możliwa wyłącznie przez naprawdę dobry teleskop. Pomiaru takich przesunięć dokonał niemiecki astronom Friedrich Wilhelm Bessel dopiero w 1838 roku.

Geocentryczny opis wszechświata był podstawą *Almagestu* Ptolemeusza i zdominował światopogląd naukowy, kulturowy i religijny aż do publikacji dzieła *De revolutionibus* w 1543 roku, w którym Mikołaj Kopernik zamiast Ziemi umieścił w centrum kosmosu Słońce. Obawiając się, że ta heretycka publikacja przerazi ówczesny establishment, Andreas Osiander, protestancki teolog nadzorujący ostatnie etapy druku dzieła, opatrzył je nieupoważnioną i anonimową przedmową, w której apelował:

> Nie wątpię, że niektórzy uczeni rozszerzoną wieścią o nowości hipotezy dzieła tego, że Ziemia biegowi podlega, a Słońce w środku świata nieporuszone stoi, mocno są obrażeni. (…) Nie masz koniecznej potrzeby, aby owe założenia były prawdziwe, owszem mogą one nawet być najmniej do prawdy podobne, byleby tylko zgodność rachunku z postrzeżeniami wskazywały.

Sam Kopernik też był świadomy burzy, którą mógł wywołać. W dedykacji skierowanej do papieża Pawła III pisał:

> Dostatecznie jasno, Ojcze Święty, zdaję sobie sprawę z tego, że znajdą się ludzie, którzy gdy tylko posłyszą, iż w tych moich księgach o obrotach sfer wszechświata przypisuję jakieś ruchy kuli ziemskiej, zaraz podniosą krzyk, że należałoby mnie wraz z takim przekonaniem potępić.

Wkrótce po tym, w 1608 roku, holenderski optyk Hans Lippershey wynalazł teleskop, a Galileusz, korzystając z instrumentu własnej produkcji, zaobserwował fazy Wenus oraz cztery księżyce okrążające nie Ziemię, ale Jowisza. Te i inne odkrycia okazywały się gwoździem do trumny teorii geocentrycznej i sprawiały, że heliocentryczny modelu kosmosu Kopernika stawał się coraz bardziej przekonujący. Rewolucja kopernikańska, opierająca się na założeniu, że nie jesteśmy wyjątkowi, rozpoczęła się oficjalnie, gdy tylko Ziemia przestała zajmować szczególne miejsce we wszechświecie.

*

Kiedy Ziemia podobnie jak reszta jej planetarnej rodzinki znalazła się na orbicie słonecznej, gdzie miało się podziać Słońce? Czyżby w centrum wszechświata? Nie ma mowy! Nikt nie miał zamiaru nabrać się na coś takiego po raz drugi. Zagroziłoby to świeżo ukutej teorii Kopernika. Przyjrzyjmy się jednak bliżej temu zagadnieniu.

Gdyby Układ Słoneczny znajdował się w centrum kosmosu, to gdzie byśmy nie spojrzeli, widzielibyśmy na niebie mniej więcej taką samą liczbę gwiazd. Natomiast gdyby jego miejsce wypadało gdzieś na obrzeżu, to w jednym z kierunków – tym wiodącym do środka wszechświata – prawdopodobnie widzielibyśmy ich duże skupisko.

Sir William Herschel, angielski astronom, który do 1785 roku skatalogował wszystkie widoczne na niebie gwiazdy i z grubsza oszacował ich odległości od Ziemi, potwierdził, że Układ Słoneczny rzeczywiście znajduje się w centrum kosmosu. Po upływie ponad stu lat holenderski astronom Jacobus Cornelius Kapteyn postanowił ponownie zbadać Układ Słoneczny i raz na zawsze określić jego położenie w Galaktyce przy użyciu najlepszych ówczesnych metod obliczania odległości.

Smuga światła zwana Drogą Mleczną obserwowana przez teleskop staje się gęstym nagromadzeniem gwiazd. Dokładna rejestracja ich położenia i odległości wskazywała, że w obrębie samej smugi liczba gwiazd w każdym kierunku jest w zasadzie taka sama, a powyżej i poniżej niej ich koncentracja symetrycznie maleje. Gdziekolwiek spojrzeć na niebo, liczba gwiazd jest zbliżona do tej obserwowanej po przeciwnej stronie – czyli pod kątem stu osiemdziesięciu stopni do kierunku poprzedniej obserwacji. Kapteyn poświęcił na przygotowanie swojej mapy nieba około dwudziestu lat i oczywiście potwierdził, że Układ Słoneczny mieści się w obszarze odpowiadającym położonemu centralnie jednemu procentowi wszechświata. Nie był to dokładnie środek kosmosu, ale byliśmy na tyle blisko niego, że mogliśmy uznać, iż zajmujemy we wszechświecie godne miejsce.

To jednak nie koniec kosmicznych złośliwości.

W owych czasach nikt – włącznie z Kapteynem – nie mógł wiedzieć, że obserwując Drogę Mleczną, nie docieramy wzrokiem do krańców wszechświata. Droga Mleczna zawiera duże skupiska gazu i pyłu, które pochłaniają światło emitowane przez znajdujące się za nimi obiekty.

Kiedy patrzymy w kierunku Drogi Mlecznej, obłoki gazu przesłaniają ponad 99 procent gwiazd, które inaczej byłyby widoczne. Twierdzić, że Ziemia znajduje się w pobliżu środka Drogi Mlecznej (wówczas tożsamej

z całym kosmosem), to trochę tak, jakby zakładać, że jesteśmy w samym środku gęstego lasu, bo w każdym kierunku widać tyle samo drzew, choć tak naprawdę zrobiliśmy raptem kilka kroków w głąb.

W latach dwudziestych ubiegłego wieku, ale jeszcze zanim kwestia pochłaniania światła została dobrze poznana, Harlow Shapley (późniejszy dyrektor Obserwatorium Uniwersytetu Harvarda) badał przestrzenny rozkład gromad kulistych w obrębie Drogi Mlecznej. Gromady kuliste to mocno skoncentrowane zgrupowania o liczebności nawet miliona gwiazd, dobrze widzialne powyżej i poniżej Drogi Mlecznej – w obszarach, gdzie absorpcja światła jest najmniejsza. Shapley zakładał, że te gigantyczne gromady pozwolą mu znaleźć centrum wszechświata, którym miał być punkt wyróżniający się największą koncentracją masy i najsilniejszym polem grawitacyjnym. Dane zebrane przez Shapleya wskazywały, że Układ Słoneczny wcale nie znajduje się w pobliżu centrum gromad kulistych, a zatem nie jest środkiem znanego kosmosu. Owo szczególne miejsce odnalazł on w odległości sześćdziesięciu tysięcy lat świetlnych; jest położone mniej więcej w tym samym kierunku, w którym widać gwiazdy należące do konstelacji Strzelca, choć znacznie od nich dalej.

Odległości Shapleya były ponad dwukrotnie zawyżone, ale nie mylił się co do istoty środka układu gromad kulistych. Jak się później okazało, ten sam obszar na nocnym niebie jest także najsilniejszym źródłem nieulegających osłabieniu przez gaz i pył fal radiowych. Astrofizykom udało się ostatecznie potwierdzić, że obszarem o najsilniejszej emisji fal radiowych jest rzeczywiście centrum Drogi Mlecznej, ale zanim to nastąpiło, zdarzyły się jeszcze dwa epizody w stylu „zobaczyć nie znaczy uwierzyć”.

Teoria Kopernika odniosła kolejny sukces. Układ Słoneczny znajduje się nie w centrum wszechświata, ale na jego peryferiach. To wciąż było do

zaakceptowania przez tych o wrażliwym ego. Bo z pewnością ten ogromny zbiór gwiazd i mgławic, do którego przynależymy, to cały wszechświat. Na pewno jesteśmy tam, gdzie wszystko się dzieje.

Ależ skąd.

Większość mgławic na naszym niebie przypomina odosobnione wyspy, co w osiemnastym wieku proroczo sugerowało kilku uczonych, między innymi szwedzki filozof Emanuel Swedenborg, angielski astronom Thomas Wright oraz niemiecki myśliciel Immanuel Kant. Na przykład w pracy *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe* (Oryginalna teoria, czyli nowa hipoteza o Wszechświecie, 1750) Wright zastanawia się nad nieskończonością kosmosu wypełnionego układami gwiazd podobnymi do naszej Drogi Mlecznej:

> Możemy więc wnioskować, (…) że skoro widzialne Stworzenie jest pełne gwiezdnych i planetarnych Układów, (…) to Bezmiar jest nieograniczonym zbiorem mnóstwa światów, przypominających znany nam kosmos. (…) To, że tak właśnie jest, może w pewnym stopniu potwierdzać istnienie wielu zamglonych punktów, ledwo przez nas dostrzegalnych, ale znajdujących się poza znanymi skupiskami gwiazd, które są wyraźnie jasne, ale trudno w nich wyróżnić konkretne gwiazdy lub tworzące je ciała niebieskie; prawdopodobnie są to twory zewnętrzne, graniczące z tymi, które znamy, ale zbyt odległe nawet dla naszych teleskopów.

„Zamglone punkty” Wrighta to w rzeczywistości skupiska setek miliardów gwiazd znajdujące się bardzo daleko od nas i widoczne przede wszystkim powyżej i poniżej Drogi Mlecznej, podczas gdy pozostałe mgławice to niewielkie pobliskie obłoki gazu, obecne głównie w obrębie naszej Galaktyki.

To, że Droga Mleczna jest tylko jedną z bardzo wielu galaktyk w kosmosie, było jednym z najważniejszych odkryć naukowych w historii, choć przez nie znów poczuliśmy się mali. Astronomem, który dopuścił się

tego uwłaczającego występku, był Edwin Hubble – to jego imię nosi Kosmiczny Teleskop Hubble'a. Uwłaczającym dowodem stało się zdjęcie uwiecznione na płycie fotograficznej nocą 5 października 1923 roku. Uwłaczającym instrumentem, który do tego posłużył, był teleskop Mount Wilson Observatory o średnicy stu cali, wówczas najlepszy na świecie, a uwłaczającym obiektem kosmicznym stała się jedna z największych mgławic na nocnym niebie – Andromeda.

Hubble zauważył w Mgławicy Andromedy bardzo jasny rodzaj gwiazdy. Astronomowie znali już wówczas tego typu obiekty znajdujące się w dobrze określonej odległości bliżej Ziemi. Korzystając z faktu, że jasność zależy jedynie od odległości, i stosując prawo odwrotnych kwadratów, Hubble obliczył odległość nowej gwiazdy i ustalił, że mgławica, w której się ona znajduje, musi być znacznie dalej niż jakakolwiek gwiazda z naszej Galaktyki.

Okazało się, że Andromeda to cała galaktyka składająca się z miliardów gwiazd oddalonych od nas o ponad dwa miliony lat świetlnych. Przyszła zatem pora, aby zapomnieć o naszej pierwszoplanowej roli. Z dnia na dzień cała nasza Galaktyka – ostatni bastion wysokiej samooceny ludzkości – skurczyła się do rozmiarów prawie nic nieznaczącej smużki w wypełnionym miliardami innych smug kosmosie – znacznie większym, niż ktokolwiek przypuszczał.

*

Skoro Droga Mleczna okazała się tylko jedną z wielu galaktyk, to może przynajmniej zajmuje centralne miejsce we wszechświecie? W sześć lat po swym poniżającym nas odkryciu Hubble zebrał dostępne dane na temat ruchu galaktyk. Wszystko wskazywało na to, że oddalają się one od Drogi

Mlecznej z prędkością wprost proporcjonalną do dzielącej ich od nas odległości.

Wreszcie zaczęliśmy coś znaczyć – wszechświat się rozszerzał, a my byliśmy w samym jego środku!

Ale tym razem nie chcieliśmy dać się zwieść pozorom. Samo to, że wydawało się nam, iż znajdujemy się w centrum wszechświata, nie oznaczało, że tak jest naprawdę. W rzeczy samej. Już od 1916 roku, kiedy to Albert Einstein opublikował pracę na temat ogólnej teorii względności – czyli współczesnej teorii grawitacji – drzemała w oczekiwaniu na zastosowanie nowa teoria kosmosu. We wszechświecie Einsteina struktura przestrzeni i czasu odkształca się pod wpływem masy. To odkształcenie oraz wynikający z niego ruch obiektów interpretujemy jako działanie siły grawitacji. Ogólna teoria względności pozwala przestrzeni kosmicznej rozszerzać się i unosić ze sobą zawarte w niej galaktyki.

W rezultacie bez względu na to, w jakiej galaktyce się znajdziemy, zawsze będzie się nam wydawać, iż kosmos rozszerza się wokół nas. Tworzy to doskonałą iluzję wysokiego poczucia własnej wartości, dzięki której natura oszukuje nie tylko wrażliwe istoty ludzkie na Ziemi, ale także wszystkie inne formy życia, jakie kiedykolwiek zamieszkiwały całą czasoprzestrzeń.

Ale chyba istnieje przecież tylko jeden wszechświat – ten, w którym żyjemy we wprawiającym nas w samozadowolenie urojeniu? Do tej pory kosmologowie nie zebrali dowodów na istnienie innych. Gdyby jednak skorzystać z niektórych dobrze sprawdzonych praw fizyki blisko ich granic (lub je przekroczyć), to mały, gorący i gęsty zalążek wszechświata można by opisać jako kipiącą pianę splątanej czasoprzestrzeni, podatnej na fluktuacje kwantowe, z których każda jest w stanie wytworzyć własny wszechświat. Możliwe, że zamieszkujemy tylko jeden ze światów w tak

zwanym wieloświecie, w którym pojawiają się i znikają niezliczone wszechświaty. Według tej koncepcji nasze znaczenie jest jeszcze bardziej znikome, niż można sobie wyobrazić. Ciekawe, jak by to przyjął papież Paweł III?

Nasza sytuacja nie jest łatwa i coraz bardziej się komplikuje. Hubble dobrze to ujął w swojej pracy *The Realm of the Nebulae* (Królestwo mgławic) z 1936 roku, a jego słowa są aktualne na każdym z etapów naszego błądzenia w ciemności:

> Badania wszechświata pozostawiają nas zatem w niepewności… Na temat naszego bezpośredniego sąsiedztwa wiemy dość dużo. Ale wraz z odległością nasza wiedza staje się coraz bardziej szczątkowa. Wreszcie docieramy do ciemnej granicy, poza którą nie sięgają już nasze teleskopy. Tam możemy tylko badać cienie i wśród upiorów błędnych pomiarów po omacku szukać punktów orientacyjnych, które nie są ani trochę bardziej uchwytne.

Czego uczy nas ta intelektualna podróż? Tego, że jesteśmy niestabilnymi emocjonalnie, chorobliwie naiwnymi i beznadziejnie ignoranckimi gospodarzami nic nieznaczącej drobinki w kosmosie.

Miłego dnia!

3

Informacyjna pułapka

Prawie wszyscy uważamy, że im więcej wiemy na dany temat, tym lepiej go rozumiemy. Do pewnego stopnia tak rzeczywiście jest. Patrząc na tę kartkę z drugiego krańca pokoju, wyraźnie widzimy, iż jest ona częścią książki, ale raczej nie dostrzeżemy na niej poszczególnych słów. Podchodząc wystarczająco blisko, można przeczytać ten rozdział. Natomiast wetknięcie nosa głęboko w książkę wcale nie sprawi, że lepiej zrozumiemy jej treść. Zauważymy pewnie wtedy jakieś drobne szczegóły, ale kosztem innych istotnych informacji, takich jak słowa, zdania czy całe akapity. Dobrze to ilustruje popularna historia o słoniu i ślepcach: jeśli skupimy się na poszczególnych wyjętych z całości elementach, takich jak twarde i ostre wypustki, długi gumowaty wąż, masywne pomarszczone kolumny czy zakończona frędzlami zwisająca lina (szybko zorientujemy się, że lepiej za nią nie ciągnąć), to nawet z odległości kilkunastu centymetrów nie będziemy w stanie opisać, jak rzeczywiście wygląda słoń.

Jedną z najtrudniejszych decyzji podczas badań naukowych jest rozpoznanie, w którym momencie należy się cofnąć (i jak bardzo), a kiedy podejść bliżej. W niektórych wypadkach przybliżenie się wiele wyjaśnia, w innych natomiast prowadzi do zbytniego uproszczenia. Rosnący stopień

skomplikowania niekiedy wskazuje na złożoność danego problemu, ale czasem zupełnie niepotrzebnie zaciemnia obraz. Jeśli chcemy poznać ogólne właściwości jakiegoś zespołu molekuł, dajmy na to, w warunkach zmieniających się ciśnienia i temperatury, to badanie zachowania poszczególnych cząsteczek jest zupełnie nieistotne, a czasami wręcz wprowadza w błąd. W jednym z kolejnych rozdziałów przekonamy się, że pojedyncza cząsteczka nie może mieć temperatury, ponieważ pojęcie temperatury dotyczy średniego ruchu wszystkich molekuł w zespole. Odwrotnie jest w biochemii, gdzie właściwie niczego nie uda się nam zrozumieć, dopóki nie przyjrzymy się oddziaływaniom poszczególnych cząsteczek między sobą.

Kiedy zatem pomiary, obserwacje, a nawet mapy zawierają właściwą liczbę szczegółów?

*

W 1967 roku Benoit B. Mandelbrot, matematyk aktualnie pracujący w Thomas J. Watson Research Center firmy IBM w Yorktown Heights w stanie Nowy Jork oraz na Uniwersytecie Yale, zadał na łamach magazynu „Science” następujące pytanie: jaka jest długość wybrzeża Wielkiej Brytanii? Wydawałoby się, że odpowiedź powinna być oczywista. Tymczasem okazało się, że jest ona o wiele bardziej skomplikowana, niż się spodziewano.

Odkrywcy i kartografowie opracowywali mapy wybrzeży od wieków. Na najwcześniejszych z nich kontynenty mają zgrubne, zabawnie wyglądające kontury, natomiast współczesne mapy o wysokiej rozdzielczości, opracowywane z wykorzystaniem technologii satelitarnych, są o niebo bardziej precyzyjne. Aby udzielić najprostszej odpowiedzi na

pytanie Mandelbrota, potrzebujemy podręcznego atlasu świata i kawałka sznurka. Wystarczy obwieść sznurkiem zarys Wielkiej Brytanii od Dunnet Head do Lizard Point, nie zapominając o żadnej zatoce ani cyplu. Potem należy rozciągnąć sznurek, zmierzyć go, porównać ze skalą na mapie i gotowe! Znamy już długość wybrzeża Wielkiej Brytanii.

Chcąc sprawdzić dokładność pomiaru, zamiast mapy przedstawiającej całą Wielką Brytanię na pojedynczej planszy, należy się zaopatrzyć w bardziej szczegółową mapę topograficzną, na przykład o skali 1:25000. Szybko zauważymy, że uwzględnia ona zatoczki, mierzeje i przylądki, które należy dodatkowo obwieść sznurkiem, i choć nie są to długie odcinki, to jest ich sporo. W rezultacie wybrzeże zmierzone na mapie topograficznej będzie dłuższe niż to w atlasie.

Który zatem pomiar jest właściwy? Pewnie ten wykonany na podstawie bardziej szczegółowej mapy. Ale przecież można wybrać jeszcze dokładniejszą mapę, na której zaznaczone są nawet pojedyncze głazy u stóp urwisk skalnych (kartografowie zwykle je pomijają, chyba że mają one rozmiary Gibraltaru). Wygląda na to, że aby naprawdę porządnie zmierzyć wybrzeże Wielkiej Brytanii, trzeba je po prostu obejść, koniecznie zabierając ze sobą bardzo długi sznurek, którego wystarczy na każdy najmniejszy zakątek. Jednak nawet wówczas z pewnością pominiemy niektóre kamyki, a tym bardziej sączące się pośród ziarenek piasku strużki wody.

Z każdym kolejnym pomiarem długość wybrzeża okaże się większa. Czy zatem istnieje jakaś wartość krańcowa? Czy jeśli uwzględnimy granice cząsteczek, atomów i cząstek subatomowych, to okaże się ono nieskończenie długie? Niezupełnie. Mandelbrot określiłby długość wybrzeża mianem „niedefiniowalnej”. Możliwe, że potrzebujemy dodatkowego wymiaru, aby inaczej spojrzeć na ten problem.

Jednowymiarowa długość może po prostu nie stanowić odpowiedniej miary dla nieregularnych kształtów wybrzeży.

W rozwiązaniu tej intelektualnej zagwozdki Mandelbrota pomogła nowo odkryta dziedzina matematyki opierająca się w odróżnieniu od klasycznej geometrii Euklidesa z jednym, dwoma lub trzema wymiarami na wymiarze podobieństwa – lub fraktalnym (od łacińskiego *fractus* – złamany, cząstkowy, ułamkowy). Według Mandelbrota tradycyjna idea wymiarów jest zbyt uboga, aby opisać skomplikowaną naturę wybrzeży. Jak się okazało, fraktale doskonale nadają się do opisu „samopodobieństwa" wzorów, które bez względu na skalę wyglądają jednakowo. W świecie przyrody najlepszymi przykładami tego zjawiska są brokuły, paprocie i płatki śniegu, ale tylko niektóre generowane komputerowo i nieskończenie powtarzalne struktury są w stanie wytworzyć idealny fraktal, w którym obiekt w skali makro zawiera mniejsze kopie tego samego kształtu lub wzoru utworzone z kolejnych, coraz mniejszych swoich wersji.

Mimo iż w miarę zagłębiania się w strukturę czystego fraktala widzimy coraz więcej jego części składowych, to przyglądając się z bliska jego budowie, nie uzyskujemy żadnych nowych informacji, gdyż wzór niezmiennie wygląda tak samo. Odwrotnie jest w przypadku ludzkiego ciała, w głębi którego docieramy do komórki – niesłychanie skomplikowanej jednostki o wielu różnych cechach, funkcjonującej według zupełnie innych zasad niż te, które obowiązują w organizmie ludzkim w skali makro. Dotarcie do poziomu komórki oznacza wejście w przestrzeń zupełnie nowych informacji.

*

Ale wróćmy do Ziemi. Na jednym z pierwszych wizerunków naszego globu, zachowanym na babilońskiej glinianej tabliczce liczącej dwa tysiące sześćset lat, świat wygląda jak płaski dysk otoczony wodami oceanów. Z perspektywy rozległej płaszczyzny (takiej jak dolina Tygrysu i Eufratu) Ziemia rzeczywiście wydaje się płaska.

Ponieważ koncepcja płaskiej Ziemi nastręczała pewnych problemów, starożytni Grecy – w tym myśliciele Pitagoras i Herodot – zaczęli dywagować na temat jej kulistości. W czwartym wieku przed naszą erą wybitnie zasłużony na polu systematyzowania wiedzy Arystoteles zebrał niektóre argumenty potwierdzające ten pogląd. Jednym z nich było zjawisko zaćmienia Księżyca. Krążąc wokół Ziemi, Księżyc od czasu do czasu jest przesłaniany przez jej stożkowaty cień, rzucany w przestrzeń kosmiczną. Arystoteles prześledził tego typu zjawiska na przestrzeni dziesięcioleci i stwierdził, iż cień Ziemi przesłaniający tarczę Księżyca zawsze jest okrągły. Jedynie sferyczne obiekty, bez względu na źródło światła i kąt jego padania, zawsze rzucają okrągły cień, a zatem Ziemia musi być kulą. Gdyby miała ona kształt płaskiego dysku, jej cień czasem byłby owalny. Natomiast kiedy Ziemia byłaby zwrócona ku Słońcu swoją krawędzią, wówczas rzucany przez nią cień miałby postać cienkiej linii. Okrągły byłby tylko wtedy, gdyby dysk Ziemi był nachylony prostopadle do kierunku padania promieni słonecznych.

Mogłoby się wydawać, iż siła tego argumentu powinna w ciągu kolejnych kilku stuleci przekonać kartografów do opracowania kulistego modelu Ziemi. Tak się jednak nie stało. Najwcześniejszy globus powstał dopiero między 1490 i 1492 rokiem, w przededniu wielkich europejskich podróży oceanicznych, odkryć geograficznych i kolonizacji.

*

Oczywiście Ziemia jest kulą. Ale diabeł jak zwykle tkwi w szczegółach. W pracy *Principia* z 1687 roku Isaac Newton zasugerował, że skoro obracające się wokół własnej osi obiekty kuliste wymuszają ruch materii w kierunku zewnętrznym, to nasza planeta (podobnie jak wszystkie inne) musi być spłaszczona na biegunach i poszerzona w okolicach równika, czyli mieć postać tak zwanej elipsoidy obrotowej. Aby potwierdzić hipotezę Newtona, pół wieku później Francuska Akademia Nauk wysłała matematyków na dwie wyprawy, jedną za koło podbiegunowe, a drugą na równik, aby w tych dwóch miejscach zmierzyć długość jednego stopnia szerokości geograficznej na powierzchni Ziemi wzdłuż tego samego południka. Wartość pomiaru była nieznacznie większa w okolicach koła podbiegunowego, co potwierdzało teorię Newtona, że Ziemia jest lekko spłaszczona.

Planeta powinna być tym szersza w okolicach równika, im szybciej wiruje wokół własnej osi. Na Jowiszu – największej planecie Układu Słonecznego – jedna doba trwa dziesięć ziemskich godzin. Jowisz jest o 7 procent szerszy na równiku niż wzdłuż biegunów. Dużo mniejsza Ziemia z dwudziestoczterogodzinną dobą jest tylko o 0,3 procent szersza na równiku – różnica wynosi około 43 kilometry przy średnicy 12 742 kilometrów czyli tyle co nic.

Wskutek tego lekkiego spłaszczenia na równiku na wysokości poziomu morza odległość od środka Ziemi jest większa niż gdziekolwiek indziej na jej powierzchni. Jeśli chcielibyśmy rzeczywiście zaszaleć, to powinniśmy się wspiąć na górę Chimborazo w środkowym Ekwadorze w pobliżu równika. Jej wierzchołek znajduje się 6310 metrów ponad poziomem morza, ale naprawdę wyjątkowym czyni go to, że jest o 2,1 kilometra dalej od środka Ziemi niż szczyt Mount Everest.

*

Sprawy skomplikowały się jeszcze bardziej przez satelity. W 1958 roku orbitujący wokół Ziemi Vanguard 1 zarejestrował, że nasza planeta jest nieco szersza na południe od równika niż na północ. Co więcej, okazało się, że na biegunie południowym poziom morza jest odrobinę bliżej środka Ziemi niż na biegunie północnym. Innymi słowy, nasza planeta ma kształt gruszki.

Kolejną kłopotliwą kwestią jest to, że kształt Ziemi nie jest stały. Wody oceanów na jej powierzchni każdego dnia wznoszą się i opadają, omywając płyty tektoniczne zgodnie z rytmem wyznaczanym głównie przez Księżyc, a w mniejszym stopniu także przez Słońce. Siła pływowa zniekształca powierzchnię wód, nadając jej wypukły kształt, co jest zjawiskiem powszechnie znanym, ale rozciąga ona również ląd, na skutek czego pływom oceanicznym i zmianom faz Księżyca towarzyszą cykliczne wahania promienia Ziemi w ciągu dnia i miesiąca.

Ziemia jest więc elipsoidalnym hula-hoopem przypominającym gruszkę.

Czy dokładne obmierzanie Ziemi będzie trwało bez końca? Być może nie. Przewińmy w przyspieszonym tempie oś czasu do roku 2002. Amerykańsko-niemiecka misja GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) wysłała na orbitę dwa satelity do zbadania geoidy Ziemi – kształtu, który miałaby nasza planeta, gdyby poziom morza był niezależny od prądów oceanicznych, pływów oraz pogody. Innymi słowy, satelity te mają wyznaczyć hipotetyczną powierzchnię, która w każdym punkcie jest prostopadła do kierunku siły ciężkości. Geoida reprezentuje więc idealnie poziomą powierzchnię naszej planety, uwzględniającą wszystkie fluktuacje

jej kształtu i gęstości materii. To coś, czemu bezwarunkowo muszą podporządkować się stolarze, geodeci i budowniczowie mostów.

*

Kolejny problematyczny kształt mają orbity. Nie są one bowiem ani jedno-, ani też dwu- lub trójwymiarowe. Orbity to twory wielowymiarowe, rozciągające się zarówno w przestrzeni, jak i w czasie.

Według Arystotelesa Ziemia, Słońce i gwiazdy przytwierdzone były w określonych miejscach na powierzchni krystalicznych sfer. To one się obracały, a orbity ciał niebieskich zakreślały (a jakżeby inaczej!) idealne okręgi. Arystoteles, a także niemal wszyscy inni starożytni uczeni uważali, że Ziemia znajduje się w centrum tego układu.

Mikołaj Kopernik podważył ten pogląd. W swoim największym dziele *De revolutionibus* umieścił w centrum wszechświata Słońce, ale zachował kołowe orbity, nieświadomy ich niezgodności z rzeczywistością. Pół wieku później Johannes Kepler skorygował ten błąd, formułując trzy prawa ruchu planet – pierwsze równania w historii nauki umożliwiające przewidywanie wyników obserwacji – z których jedno stanowiło, że orbity to nie okręgi, lecz elipsy o różnym stopniu wydłużenia.

Ale na tym nie koniec.

Przyjrzyjmy się układowi Ziemia–Księżyc. Obydwa ciała krążą wokół wspólnego środka masy, czyli barycentrum, leżącego około 1700 kilometrów poniżej punktu na powierzchni Ziemi, który znajduje się w danym momencie najbliżej Księżyca. I to nie same planety, lecz barycentra układów złożonych z planet i ich księżyców zataczają keplerowskie eliptyczne orbity wokół Słońca. Trajektoria ruchu Ziemi jest

więc serią trzynastu nanizanych na elipsę pętelek – po jednej dla każdego pełnego cyklu faz Księżyca w roku.

Jednak siła przyciągania działa nie tylko pomiędzy Księżycem i Ziemią – inne planety (i ich księżyce) również oddziałują na ten układ. A zatem każdy przyciąga każdego. Jak można się domyślić, sprawa jest mocno pogmatwana, ale postaramy się ją nieco bardziej przybliżyć w dalszych rozdziałach. Co więcej, za każdym razem, kiedy układ Ziemia–Księżyc okrąża Słońce, orientacja elipsy odrobinę się zmienia, jednocześnie Księżyc oddala się spiralnym ruchem od Ziemi o kilka centymetrów rocznie, a charakter niektórych orbit w Układzie Słonecznym jest zupełnie chaotyczny.

Cokolwiek by powiedzieć, przedstawienie baletowe Układu Słonecznego z choreografią grawitacji to wydarzenie artystyczne, które zrozumieć i pokochać może tylko komputer. Przebyliśmy daleką drogę od koncepcji pojedynczych niezależnych ciał krążących we wszechświecie po idealnych okręgach.

*

Dyscypliny naukowe rozwijają się na różne sposoby w zależności od tego, czy dane wyprzedzają teorię, czy jest odwrotnie. Teoria wskazuje nam kierunek poszukiwań, które czasem kończą się sukcesem, a czasem porażką. Kiedy znajdujemy odpowiedzi na nasze pytania, przechodzimy do kolejnych. Jeśli jednak zamiast teorii posiadamy narzędzia pomiarowe, to najpierw gromadzimy jak najwięcej danych, żywiąc nadzieję, że ułożą się one w jakiś ogólny schemat. Ale dopóki nie możemy podsumować wyników, dopóty w zasadzie poruszamy się po omacku.

Bylibyśmy w błędzie, sądząc, że Kopernik nie miał racji, tylko dlatego, że zaproponowane przez niego orbity miały niewłaściwy kształt. Najważniejsze w jego teorii było bowiem stwierdzenie, że planety poruszają się wokół Słońca. Astrofizycy do dziś udoskonalają ten model, przyglądając się mu z coraz bliższej odległości. Może Kopernik nie trafił w samo sedno, ale na pewno był tuż obok. Zatem pytanie: „Kiedy podejść bliżej, a kiedy się cofnąć?" chyba wciąż pozostaje aktualne.

*

Wyobraźmy sobie teraz, że jest chłodny jesienny poranek, a my idziemy chodnikiem. O jakiś kwartał wyprzedza nas siwowłosy mężczyzna w granatowym garniturze. Z tak daleka raczej nie zobaczymy biżuterii na jego lewej ręce. Gdy przyspieszymy kroku i zbliżymy się na odległość mniej więcej dziesięciu metrów, być może wychwycimy, że nosi sygnet, ale nie będziemy w stanie dostrzec oprawionego w nim drogocennego kamienia ani wygrawerowanego wzoru. Jeśli natomiast podejdziemy bardzo blisko z lupą w ręku – i jeśli ten mężczyzna nie wezwie odpowiednich służb – dowiemy się pewnie, w którym roku, z jakim tytułem i jaką uczelnię ukończył, a może nawet uda nam się dojrzeć jej wygrawerowane godło*. W tym wypadku podejście bliżej faktycznie daje nam więcej.

Następnie wyobraźmy sobie, że oglądamy jeden z późnodziewiętnastowiecznych obrazów w stylu francuskiego puentylizmu. Z odległości trzech metrów widać na nim mężczyzn w cylindrach, kobiety ubrane w długie suknie z turniurami, dzieci, zwierzęta domowe, pobłyskujące zmarszczki na wodzie. Z bliska zaś można dostrzec jedynie dziesiątki tysięcy kresek, kropek i kolorowych

plam. Przytykając nos do płótna, docenimy misterność i konsekwencję wykorzystanej techniki malarskiej, ale tylko z pewnej odległości będziemy w stanie zobaczyć namalowaną scenę. W przeciwieństwie do sytuacji z mężczyzną i sygnetem, im bardziej zbliżamy się do arcydzieła puentylizmu, tym więcej jego szczegółów się rozmywa, sprawiając, że wolimy zachować pewien dystans.

Które z tych podejść jest skuteczniejsze w odkrywaniu świata przyrody? I jedno, i drugie ma swoje zalety. Niemal za każdym razem, kiedy naukowcy próbują zgłębić dane zjawisko lub zbadać jakiś obiekt w kosmosie, czy jest to zwierzę, roślina, czy gwiazda, muszą ocenić, która metoda jest korzystniejsza – ta dająca szerszy ogląd (kiedy utrzymujemy pewien dystans) czy ta, w której obserwujemy coś z bardzo bliska. Istnieje jeszcze trzecie podejście, poniekąd łączące dwa poprzednie, w którym bliższe poznanie przynosi więcej danych, ale jednocześnie uzyskiwane dzięki niemu dodatkowe informacje coraz bardziej gmatwają sprawę. Pokusa, aby się wycofać, jest wówczas wielka, ale równie nęcąca jest perspektywa kontynuacji poszukiwań. Na każdą hipotezę potwierdzoną przez bardziej szczegółowe dane przypada dziesięć innych, które trzeba zmodyfikować lub całkowicie odrzucić. Często sformułowanie kilku spostrzeżeń na podstawie nowych obserwacji zajmuje lata, a nawet dziesiątki lat. Dobrym tego przykładem są teorie dotyczące niezliczonych pierścieni Saturna.

*

Ziemia to fascynujące miejsce – dobrze się tu żyje i pracuje. Jednak do 1609 roku, kiedy Galileusz spojrzał w niebo przez swój teleskop, nikt nie był świadomy, że można również badać inne miejsca w kosmosie

i dowiadywać się, jaka jest ich powierzchnia, skład czy klimat. W 1610 roku Galileusz zauważył niezwykłą cechę Saturna, a ponieważ rozdzielczość jego teleskopu była kiepska, wydawało mu się, że Saturn ma dwóch towarzyszy – jednego z prawej, drugiego z lewej strony. Aby nikt inny nie próbował przywłaszczyć sobie tego radykalnego i dotąd niepublikowanego odkrycia, Galileusz zapisał swoją obserwację następująco:

smaismrmilmepoetaleumibunenugttauiras

Po rozszyfrowaniu anagramu i przełożeniu z łaciny układa się on w sentencję: „Najwyższą planetę obserwowałem jako potrójną”. W ciągu kolejnych lat Galileusz nieustannie przypatrywał się towarzyszom Saturna. Czasem obiekty te układały się w coś na kształt uszu, innym razem zupełnie znikały.

W 1656 roku holenderski fizyk Christiaan Huygens zaczął obserwować Saturna przez teleskop o znacznie lepszej niż instrument Galileusza rozdzielczości, zbudowany specjalnie do badań tej planety. Huygens był pierwszym uczonym, któremu udało się ustalić, że „uszy” Saturna to tak naprawdę otaczający go płaski pierścień. Podobnie jak Galileusz pół wieku wcześniej, Huygens zaszyfrował swoje przełomowe, ale niepotwierdzone jeszcze wtedy odkrycie pod postacią anagramu. W ciągu trzech lat od dokonania tej obserwacji opublikował ją oficjalnie w dziele pod tytułem *Systema Saturnium*.

Po kolejnych dwudziestu latach dyrektor obserwatorium paryskiego Giovanni Cassini stwierdził istnienie dwóch pierścieni, oddzielonych od

siebie szczeliną, znaną dziś jako przerwa Cassiniego. Niemal dwa stulecia później szkocki fizyk James Clerk Maxwell został uhonorowany prestiżową nagrodą za udowodnienie, że pierścienie Saturna to nie sztywne tarcze, lecz zbiór wielu małych cząstek poruszających się każda po swojej orbicie.

Do końca dwudziestego wieku zaobserwowano siedem wyraźnych pierścieni, które nazwano kolejnymi literami alfabetu łacińskiego od A do G. Okazało się też, że każdy z nich tworzą tysiące pasm i wstęg.

Tyle raptem zostało z teorii „uszu Saturna".

*

W XX wieku w okolice Saturna wysłano kilka misji kosmicznych: w 1979 roku poleciała tam sonda Pioneer 11, w 1980 – Voyager 1, a w 1981 – Voyager 2. Poczynione przez nie ze stosunkowo bliskiej odległości obserwacje jednoznacznie wskazywały, iż układ pierścieni jest znacznie bardziej skomplikowany i zadziwiający, niż się spodziewano. W niektórych z nich cząstki grupują się w cienkie pasma, skupiając się pod wpływem tak zwanych księżyców pasterskich – maleńkich satelitów krążących w pobliżu i wewnątrz pierścieni. Siły grawitacyjne księżyców pasterskich przyciągają cząstki pierścieni w różnych kierunkach, wskutek czego tworzą się liczne szczeliny.

Fale gęstości, rezonans orbitalny i inne kaprysy grawitacji w układach wielu cząstek wywołują dużo przejściowych zjawisk w obrębie pierścieni oraz pomiędzy nimi. Zarejestrowane przez sondę Voyager efemeryczne, przemieszczające się „szczeble" w pierścieniu B, za które rzekomo odpowiedzialne miało być oddziaływanie pola magnetycznego Saturna, zniknęły w tajemniczych okolicznościach, kiedy misja Cassini rejestrująca obrazy z orbity Saturna przesłała zdjęcia w znacznym powiększeniu.

Z czego są zatem zbudowane pierścienie Saturna? Głównie z cząstek lodu wodnego z domieszką zanieczyszczeń, które zawierają te same pierwiastki co jeden z większych księżyców planety. Analiza chemiczna jego otoczenia wskazuje, że Saturn mógł mieć w przeszłości kilka takich księżyców. Być może te, które zniknęły bez wieści, naruszyły intymność gigantycznej planety, krążąc zbyt blisko, i zostały rozsadzone wskutek działania jej sił pływowych.

Zresztą Saturn to nie jedyna planeta otoczona układem pierścieni. Duże powiększenia zdjęć pozostałych gazowych gigantów Układu Słonecznego, czyli Jowisza, Urana i Neptuna, dowodzą, że każdy z nich jest otoczony układem pierścieni. Zostały one jednak odkryte dopiero na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego wieku, ponieważ w przeciwieństwie do imponującego układu pierścieni Saturna są one głównie zbudowane z ciemnych, nieodbijających światła substancji, takich jak fragmenty skał czy drobinki pyłu.

*

Dla niezbyt gęstych i mało stabilnych obiektów przestrzeń wokół planet może być dość niebezpiecznym miejscem. Z dalszych rozdziałów tej książki dowiemy się, że wiele komet i niektóre asteroidy przypominają tak naprawdę sterty gruzu i przelatując w pobliżu planet, narażają się na spore ryzyko. Magiczna odległość, w obrębie której siła pływowa planety przewyższa grawitację utrzymującą takie tułacze jednostki w całości, nosi od nazwiska odkrywcy, dziewiętnastowiecznego francuskiego astronoma Édouarda Alberta Roche’a, nazwę granicy Roche’a. Obiekty, które znajdą się po jej wewnętrznej stronie, ulegają rozszarpaniu, a ich składniki

zaczynają następnie krążyć po własnych orbitach, tworząc szeroki, spłaszczony, okrągły pierścień.

Niedawno otrzymałem smutną wiadomość od badającego układy pierścieni kolegi, który z przykrością doniósł, że orbity tworzących pierścienie Saturna cząstek są niestabilne i że za jakieś sto milionów lat (czyli w astronomicznym mgnieniu oka) cząstki te nie będą już krążyć wokół planety. Coś takiego! Moja ulubiona planeta zostanie pozbawiona tego, co czyni ją tak wyjątkową! Jak się jednak okazuje, bezustanny i w zasadzie niekończący się proces akrecji cząstek pochodzących z przestrzeni międzyplanetarnej być może uzupełni straty w pierścieniach. Podobnie jak skóra na naszej twarzy, mogą one przetrwać, mimo iż budujące je elementy będą stopniowo zanikać.

Dzięki zdjęciom Saturna wykonanym przez sondę Cassini na Ziemię dotarły jeszcze inne informacje. Carolyn C. Porco, szefowa zespołu obrazowania misji i specjalistka od pierścieni planetarnych w Space Science Institute w Boulder, Kolorado, określiła je mianem „zadziwiających” i „niepojętych”. W niektórych miejscach w obrębie pierścieni zarejestrowano niespodziewane i na razie trudne do wytłumaczenia zjawiska, takie jak istnienie wąskich pierścieni o bardzo wyraźnych, ząbkowanych krawędziach czy grudki połączonych cząstek. Zastanawiająca jest także różnica między nieskazitelną czystością lodowych pierścieni A i B a zanieczyszczeniami krążącymi w przerwie Cassiniego. Wszystko wskazuje na to, że Porco i jej współpracownicy przez najbliższe lata będą mieli co robić i być może nieraz z nostalgią wspomną wcześniejszą, bardziej klarowną i zrozumiałą, choć odleglejszą perspektywę.

* W USA mężczyźni często noszą sygnety z emblematami prestiżowych uczelni, które ukończyli (przyp. red.).

4

Kijowa nauka

Od mniej więcej dwóch stuleci odkrycia kosmiczne zawdzięczamy połączeniu zaawansowanych technologii i ludzkiej inteligencji. Załóżmy jednak, że zdobycze technologiczne są nieosiągalne i jedyne, czym dysponujemy w naszym domowym laboratorium, to zwykły kij. Czy możemy się za jego pomocą czegoś dowiedzieć? Okazuje się, że całkiem sporo.

Niepozorny kij może nam powiedzieć skandalicznie wręcz wiele na temat naszego miejsca we wszechświecie, pod warunkiem że będziemy cierpliwi, a nasze pomiary – dokładne. To, z czego jest nasz kij i jaki ma kolor, zupełnie nie ma znaczenia. Ważne, by był prosty. Wystarczy wbić go w ziemię w miejscu, z którego możemy obserwować horyzont. Ponieważ stosujemy niezaawansowane technologie, kij można wbić w ziemię kamieniem. Należy się upewnić, że kij tkwi pionowo i się nie wygina.

Właśnie zbudowaliśmy laboratorium jaskiniowca.

Tak wyposażeni, w bezchmurny dzień śledźmy długość rzucanego przez kij cienia: o wschodzie Słońca, podczas jego ruchu po nieboskłonie i o zachodzie. Cień będzie najpierw dość długi, następnie zacznie się skracać, aż do osiągnięcia przez Słońce najwyższego punktu na niebie, po

czym znów będzie się wydłużał, aż do zapadnięcia zmroku. Zbieranie danych podczas tego eksperymentu jest mniej więcej tak ekscytujące, jak śledzenie ruchu godzinowej wskazówki zegara. Nie mamy przecież jednak żadnych nowoczesnych technologii, więc nic nie rozprasza naszej uwagi. Zauważmy, że w chwili, gdy cień jest najkrótszy, czyli w tak zwane lokalne południe, mija dokładnie połowa doby. W zależności od tego, po której stronie równika się znajdujemy, cień wskazuje wówczas dokładnie północ lub południe.

W ten sposób skonstruowaliśmy najprostszy zegar słoneczny. Erudyci nazwaliby kij gnomonem, ale według mnie „kij” to całkiem dobre określenie. Warto zauważyć, że na będącej kolebką cywilizacji półkuli północnej wraz z ruchem Słońca po niebie cień będzie wędrował wokół dolnego końca kija zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara. To dlatego wskazówki zegarów poruszają się właśnie w tym kierunku.

Jeśli będziemy niebywale cierpliwi, a niebo pozostanie bezchmurne przez cały rok, to będziemy mogli powtórzyć ten eksperyment 365 razy z rzędu. Zauważymy wówczas, że Słońce nie wstaje codziennie dokładnie w tym samym punkcie na horyzoncie. Okaże się też, że dwa razy do roku cień kija o wschodzie Słońca jest skierowany dokładnie w przeciwną stronę niż o zachodzie. Słońce wschodzi wówczas dokładnie na wschodzie i zachodzi dokładnie na zachodzie, a dzień trwa tyle co noc. Te dwa dni w roku to tak zwana równonoc lub ekwinokcjum wiosenne i jesienne (od łacińskiego słowa *aequinoctium* oznaczającego zrównanie dnia z nocą). W pozostałe dni Słońce wschodzi i zachodzi w innych miejscach na horyzoncie, ktokolwiek więc ukuł stwierdzenie, że Słońce wstaje na wschodzie i zachodzi na zachodzie, najwyraźniej nigdy nie przyglądał się niebu wystarczająco uważnie.

Obserwując wyznaczane przez cień kija miejsca wschodów i zachodów Słońca na półkuli północnej, łatwo zauważyć, że po równonocy wiosennej punkty te stopniowo przemieszczają się w kierunku na północ od linii wschód–zachód, zatrzymują się, po czym powoli obierają kierunek południowy. Po przekroczeniu linii łączącej wschód i zachód punkty te przesuwają się na południe coraz wolniej, po czym nieruchomieją, a następnie obierają kierunek północny. Ten cykl powtarza się każdego roku.

Jednocześnie trajektoria ruchu Słońca po nieboskłonie nieustannie się zmienia. W dniu przesilenia letniego (po łacinie określa się je mianem *solstitium*, co oznacza „nieruchome Słońce”) wschodzi ono i zachodzi w najbardziej na północ wysuniętych punktach horyzontu i podczas swej wędrówki osiąga najwyższą pozycję w zenicie. Przesilenie letnie oznacza najdłuższy dzień w roku, a cień rzucany wtedy przez kij w południe jest najkrótszy. Kiedy Słońce na horyzoncie wstaje i zachodzi w skrajnie południowych punktach, osiąga ono najniższą pozycję w zenicie, a więc cień kija jest wtedy w południe najdłuższy. Ten dzień nazywamy z kolei przesileniem jesiennym.

W przypadku 60 procent powierzchni Ziemi i – w przeliczeniu – dla 77 procent jej mieszkańców Słońce nigdy nie znajdzie się dokładnie nad ich głowami. W pozostałej części naszego globu, czyli w wycentrowanym na równiku pasie o szerokości 5200 kilometrów, Słońce góruje w zenicie tylko dwa razy do roku (a jeśli znajdujemy się akurat dokładnie na zwrotniku Raka lub Koziorożca, to wtedy tylko raz w roku). Wygląda na to, że zarówno stwierdzenie o wschodach i zachodach Słońca, jak i o tym, że w południe znajduje się ono dokładnie nad naszymi głowami, wymyśliła ta sama osoba.

Do tej pory za pomocą kija, wykazując się wyjątkową cierpliwością, zdołaliśmy określić główne kierunki geograficzne i cztery dni wyznaczające zmiany pór roku. Naszym następnym zadaniem jest pomiar czasu, który upływa pomiędzy dwoma kolejnymi południami słonecznymi. Przydałby się w tym celu drogi chronometr, ale jedna lub kilka dobrze skonstruowanych klepsydr z powodzeniem go zastąpi. Każde z tych urządzeń pozwoli nam z dużą dokładnością zmierzyć, ile czasu upływa od jednego południa słonecznego do następnego, dzięki czemu wyznaczymy tak zwaną dobę słoneczną. Jej średnia długość na przestrzeni roku wynosi dokładnie 24 godziny, choć wynik ten nie uwzględnia dodatkowej sekundy, którą od czasu do czasu należy doliczyć z powodu spowalniania prędkości obrotowej Ziemi wskutek grawitacyjnego przyciągania wód oceanicznych przez Księżyc.

Wróćmy jednak do naszego kija – jeszcze się nam przyda. Wyobraźmy sobie linię łączącą jego koniec z jakimś punktem na niebie i wykorzystując nasz czasomierz, określmy moment, w którym jakaś gwiazda ze znanej nam konstelacji znajdzie się na tej linii. Następnie za pomocą klepsydry odmierzmy, ile czasu mija, zanim ta gwiazda znajdzie się kolejnej nocy dokładnie w tym samym miejscu. Okres ten – zwany dobą gwiazdową – wynosi 23 godziny, 56 minut i 4 sekundy. Ze względu na prawie cztery minuty różnicy między dobą słoneczną a gwiazdową wydaje się, że Słońce porusza się na tle gwiazd, jakby odwiedzało w ciągu roku poszczególne konstelacje, jedną po drugiej.

Oczywiście poza Słońcem gwiazdy w ciągu dnia są na niebie niewidoczne. Zaczynają być jednak dostrzegalne nad horyzontem tuż po zachodzie albo tuż przed wschodem. Dzięki temu bystry obserwator z dobrą pamięcią do układów gwiazd może określić gwiazdozbiór, na tle którego aktualnie znajduje się Słońce.

Skoro mamy już narzędzie do pomiaru czasu, to możemy je wykorzystać do jeszcze jednego eksperymentu z udziałem kija wbitego w ziemię. Codziennie przez cały rok zaznaczajmy wierzchołek cienia rzucanego przez kij w momencie, gdy nasz czasomierz wskazuje samo południe. Okaże się, że każdego dnia będzie to nieco inne miejsce, a pod koniec roku z połączenia tych punktów powstanie kształt zbliżony do ósemki, który erudyci zwą analemmą.

Dlaczego tak się dzieje?

Otóż oś obrotu Ziemi tworzy z płaszczyzną Układu Słonecznego kąt wynoszący 23,5 stopnia. To nachylenie jest nie tylko przyczyną występowania pór roku i codziennych zmian pozycji Słońca na niebie, ale także odpowiada za charakterystyczną ósemkę, wytyczaną przez nie podczas całorocznej wędrówki tam i z powrotem w poprzek równika niebieskiego. Co więcej, Ziemia nie krąży wokół Słońca po orbicie będącej idealnym okręgiem. Zgodnie z odkrytymi przez Keplera prawami ruchu planet Ziemia krąży wokół Słońca szybciej, kiedy się do niego przybliża, i zwalnia, gdy się od niego oddala.

Jednak prędkość obrotowa Ziemi jest stała, więc Słońce nie ma wyboru i nie zawsze osiąga najwyższą pozycję na niebie dokładnie w zegarowe południe. Choć między kolejnymi dniami odstępstwo to jest niewielkie, to w niektóre dni Słońce dociera tam nawet o 14 minut później, a w inne – o 16 minut wcześniej. Tylko cztery razy w roku czas słoneczny jest zgodny z czasem zegarowym (co odpowiada pozycjom Słońca wyznaczanym przez górną i dolną krawędź analemmy oraz przecięcie linii w jej środku). Dni te przypadają 15 kwietnia, 14 czerwca, 2 września i 25 grudnia lub w okolicach tych dat (zbieżność trzech pierwszych z terminem składania rozliczeń podatkowych, Świętem Flagi oraz Świętem Pracy w Stanach Zjednoczonych jest najzupełniej przypadkowa).

A teraz sklonujmy się i wyślijmy naszego sobowtóra wraz z jego kijem do wcześniej wybranego miejsca na południe, daleko poza horyzont. Umówmy się, że w tym samym dniu i o tej samej godzinie zmierzymy długość cienia rzucanego przez nasze kije. Jeśli się okaże, że cienie są tej samej długości, to znaczy, że Ziemia jest płaska albo ma gigantyczne rozmiary. Jeśli natomiast pomiary będą się między sobą różniły, to za pomocą geometrii będziemy mogli obliczyć obwód naszej planety.

Po raz pierwszy dokonał tego astronom i matematyk Eratostenes z Cyreny żyjący w latach 276–194 przed naszą erą. Porównał on długość rzucanych w południe cieni w dwóch egipskich miastach – Syene (dziś Asuan) i Aleksandrii. Ponieważ przyjął on zbyt dużą odległość między nimi (pięć tysięcy stadiów), wykonane przez niego obliczenia obwodu Ziemi odbiegały od rzeczywistych o około 15 procent.

Warto przy okazji zauważyć, że nazwa „geometria” pochodzi od greckiego określenia „pomiarów Ziemi”.

Do tej pory obserwacje naszego kija zajmowały nam całe lata, ale kolejny eksperyment z jego udziałem potrwa zaledwie około minuty. Wbijmy kij pod jakimkolwiek kątem – byle nie pionowo – tak by przypominał zwykłą wystającą z ziemi gałąź. Przywiążmy do kamienia kawałek cienkiego sznurka, którego drugi koniec zamocujmy na wierzchołku kija. W ten sposób powstanie wahadło. Zmierzmy długość sznurka, a potem pchnijmy kamień, aby wprawić go w ruch. Następnie policzmy, ile wychyleń wykona wahadło w ciągu sześćdziesięciu sekund.

Jak zauważymy, ich liczba nie zależy zbytnio od kąta wychylenia wahadła ani od masy wykorzystanego kamienia. Istotne są tylko długość sznurka i to, na jakiej planecie się znajdujemy. Stosunkowo prosty wzór pozwoli nam następnie wydedukować, jakie jest przyspieszenie grawitacyjne na Ziemi, będące bezpośrednią miarą naszego ciężaru. Na

Księżycu, gdzie jest ono sześć razy mniejsze niż na Ziemi, to samo wahadło poruszałoby się znacznie wolniej, a liczba jego wychyleń na minutę byłaby mniejsza.

Nie istnieje lepszy sposób badania tętna planety.

*

Do tej pory za pomocą kija udało się nam zaobserwować, że Słońce i gwiazdy okrążają nas w regularnych odstępach czasu, natomiast nie stwierdziliśmy, czy Ziemia wykonuje ruch obrotowy. Aby się o tym przekonać, musimy znaleźć kij o długości ponad dziesięciu metrów i wbić go w ziemię tak jak poprzednio – pod pewnym kątem. Potem do cienkiego sznurka umocowanego na wierzchołku kija należy przywiązać ciężki kamień. Podobnie jak wcześniej, kamień trzeba wprawić w ruch. Ponieważ sznurek jest długi i cienki, a kamień ciężki, wahadło będzie się poruszać przez bardzo długi czas.

Jeśli starczy nam cierpliwości i będziemy się dokładnie przyglądać kierunkowi ruchu wahadła, to zauważymy, że płaszczyzna wychyleń powoli zatacza okrąg. Z dydaktycznego punktu widzenia najlepszym miejscem na taki eksperyment jest biegun północny (lub południowy). Na biegunach płaszczyzna drgań wahadła wykonuje pełen obrót w ciągu 24 godzin – co stanowi miarę prędkości obrotowej powierzchni Ziemi znajdującej się pod wahadłem. W innych miejscach na Ziemi, z wyjątkiem równika, płaszczyzna drgań nadal wykonuje obrót, ale im dalej od biegunów i bliżej równika, tym wolniej. Na równiku płaszczyzna wahadła pozostaje nieruchoma. Ten eksperyment dowodzi, że to Ziemia się porusza – nie Słońce. Z małą pomocą trygonometrii możemy też odwrócić problem

i znając czas jednego obrotu płaszczyzny drgań wahadła, obliczyć szerokość geograficzną, na której się znajdujemy.

Po raz pierwszy dokonał tego francuski fizyk Jean Bernard Léon Foucault, a jego eksperyment był ostatnim tanim przedsięwzięciem laboratoryjnym w historii nauki. W 1851 roku badacz zaprosił swoich kolegów do Panteonu w Paryżu, aby zobaczyli, „jak obraca się Ziemia". Dziś wahadło Foucaulta znajduje się praktycznie w każdym muzeum przyrodniczym na świecie.

Skoro tyle możemy się dowiedzieć, zwyczajnie wbijając kij w ziemię, to jakie znaczenie miały słynne prehistoryczne obserwatoria? Badania pradawnych kultur zamieszkujących zarówno Europę i Azję, jak i Afrykę oraz Amerykę Łacińską jednoznacznie dowodzą istnienia wielu kamiennych budowli, które odgrywały rolę prymitywnych obserwatoriów astronomicznych, choć mogły być także miejscami kultu lub pełnić inne ważne funkcje w życiu ówczesnych społeczności.

Jednym z nich jest Stonehenge, gdzie położenie niektórych z koncentrycznie ustawionych kamieni wskazuje dokładnie pozycję wschodzącego Słońca w dniu przesilenia letniego. Inne głazy odpowiadają skrajnym punktom wschodu i zachodu Księżyca. Stonehenge, który zaczęto budować około 3100 roku przed naszą erą i modyfikowano przez następne dwa tysiąclecia, składa się między innymi z ogromnych monolitycznych głazów, pochodzących z odległych terenów równiny Salisbury w południowej Anglii. Około osiemdziesięciu słupów z dolerytu, z których każdy waży po kilka ton, sprowadzono ze wzgórz Preseli, oddalonych o ponad trzysta kilometrów, a tak zwane sarseny, których masa dochodzi nawet do pięćdziesięciu ton, pochodzą z Marlborough Downs, trzydzieści kilometrów od Stonehenge.

Znaczenie kręgu Stonehenge jest dobrze opisane w literaturze. Zarówno historycy, jak i postronni obserwatorzy zachwycają się poziomem wiedzy astronomicznej starożytnych, którzy go zbudowali, a także umiejętnościami, które umożliwiły im przetransportowanie bardzo ciężkich ładunków z tak odległych miejsc. Zainspirowani fantastyką entuzjaści tego miejsca wierzą, że w jego budowę zaangażowane były istoty pozaziemskie.

Do dziś nie wiadomo, dlaczego prehistoryczni konstruktorzy Stonehenge nie wykorzystali łatwiejszych do pozyskania pobliskich skał. Jednak ich umiejętności i wiedza nie są już dla nas zagadką. Główne etapy budowy kręgu trwały w sumie kilkaset lat. Opracowywanie jego planów pewnie zabrało wcześniej ze sto. W ciągu pięciuset lat można zbudować wszystko, nawet jeśli materiały budowlane sprowadza się z bardzo daleka. Natomiast wiedza astronomiczna wykorzystana przy budowie Stonehenge nie wykracza specjalnie poza to, czego można się nauczyć, wbijając kij w ziemię.

Starożytne obserwatoria nie przestają zachwycać współczesnego człowieka, być może dlatego, że współczesny człowiek nie wie zbyt wiele na temat ruchu Słońca, Księżyca i gwiazd nad swoją głową. Jesteśmy zbyt zajęci oglądaniem seriali, by zainteresować się tym, co dzieje się na niebie. Konstrukcja z głazów, zbudowana w oparciu o ruch ciał niebieskich, wydaje się nam osiągnięciem godnym Einsteina. Tymczasem naprawdę niezwykłą byłaby dopiero ta cywilizacja, której dziedzictwo kulturowe i architektoniczne w ogóle nie nawiązywałoby do nieba.

5

Podróż od wnętrza Słońca

Na co dzień nie spędzamy wiele czasu, zastanawiając się, jak powstające we wnętrzu Słońca światło dociera na powierzchnię Ziemi, gdzie jego promień może natrafić na czyjeś pośladki wygrzewające się na piaszczystej plaży. Pokonywana z prędkością światła i trwająca pięćset sekund podróż przez otchłań przestrzeni międzyplanetarnej od Słońca do Ziemi to pestka. Trudniej natomiast światłu pokonać drogę z wnętrza Słońca na jego powierzchnię – zajmuje mu to bowiem około miliona lat.

We wnętrzu gwiazd, gdzie panuje temperatura około dziesięciu milionów, a w wypadku Słońca – piętnastu milionów kelwinów, jądra wodoru osiągają wystarczająco duże prędkości, by pokonać istniejące między nimi odpychanie, i zderzają się ze sobą. Wskutek fuzji termojądrowej z czterech jąder wodoru powstaje jedno jądro helu, a przy okazji materia zamienia się w energię. Z pominięciem kilku pośrednich etapów wygląda to tak, że Słońce mówi:

4H → He + energia

i staje się światło.

Powstaniu jądra helu zawsze towarzyszy kreacja cząstek światła zwanych fotonami. Mają one tak dużo energii, że zaliczane są do promieniowania gamma, czyli rodzaju światła o najwyższej klasyfikowanej energii. Fotony gamma, które już od narodzin poruszają się z prędkością światła (wynoszącą 299 792 kilometry na sekundę), chcąc nie chcąc rozpoczynają wędrówkę w kierunku powierzchni Słońca.

Niezakłócony ruch fotonu zawsze odbywa się po linii prostej. Jeśli jednak coś stanie mu na drodze, wówczas ulega on rozproszeniu albo absorpcji i ponownej emisji. W wyniku tych zjawisk foton kontynuuje swą podróż w kierunku innym niż dotychczas i z inną energią. Biorąc pod uwagę gęstość materii Słońca, foton porusza się po linii prostej średnio krócej niż jedna trzydziestomiliardowa część sekundy (jedna trzydziesta nanosekundy), co wystarcza mu na pokonanie około jednego centymetra, zanim zacznie oddziaływać z wolnymi elektronami lub jonami.

Po każdej takiej interakcji foton może kierować się na zewnątrz, w bok, a nawet cofać. W jaki zatem sposób kiedykolwiek udaje się tak bezcelowo poruszającej się cząstce opuścić Słońce? Podpowiedź znajdziemy w zachowaniu nietrzeźwej osoby wyruszającej spod ulicznej latarni i robiącej po kilka kroków to w jednym, to w drugim kierunku. Co ciekawe, prawdopodobieństwo, że wróci ona pod latarnię, jest niewielkie. Jeśli porusza się rzeczywiście przypadkowo, to jej odległość od punktu wyjścia będzie stopniowo rosnąć.

Nie można dokładnie przewidzieć, jak bardzo każda wstawiona osoba oddali się od lampy po wykonaniu określonej liczby kroków, ale gdyby udało się nam przekonać wielu ludzi nadużywających alkoholu do wzięcia udziału w takim eksperymencie, to moglibyśmy dość dokładnie określić średni dystans, jaki wtedy pokonają. Okazałoby się wówczas, że przeciętna

odległość od latarni wzrasta wprost proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego z całkowitej liczby wykonanych kroków. Przykładowo: jeśli każda z osób wykona 100 kroków w losowych kierunkach, to średnia odległość od latarni wyniesie tylko 10 kroków. Przy 900 wykonanych krokach średnia odległość wzrośnie do zaledwie 30 kroków.

Kroczek fotonu ma długość centymetra, zatem musi on zrobić ich prawie pięć tryliardów, aby „losowo” pokonać dystans 70 miliardów centymetrów z wnętrza Słońca na jego powierzchnię. Całkowita odległość pokonana przez foton wynosi w tym wypadku około 5000 lat świetlnych. Zatem aby przemierzyć ją z prędkością światła, foton musiałby podróżować przez 5000 lat. Jednak biorąc pod uwagę bardziej realistyczny model budowy Słońca (uwzględniający na przykład to, że gaz w jego wnętrzu ulega ściśnięciu pod wpływem własnego ciężaru i 90 procent masy Słońca znajduje się w kuli o promieniu będącym połową jego całkowitego promienia) oraz dodatkowy czas tracony na pochłanianie i reemisję fotonu, jego podróż zabiera w sumie około miliona lat. Gdyby foton pokonywał drogę z wnętrza Słońca na jego powierzchnię bez przeszkód, zajęłoby mu to zaledwie 2,3 sekundy.

Podejrzenia, że ruch fotonu wewnątrz Słońca może napotykać na spore przeszkody, pojawiły się już w latach dwudziestych ubiegłego wieku. Zawdzięczamy je barwnej postaci sir Arthura Stanleya Eddingtona, brytyjskiego astrofizyka, który dysponując wystarczającą wiedzą fizyczną do zgłębienia tej kwestii, podjął się badań struktury gwiazd. W 1926 roku napisał dzieło pod tytułem *The Internal Constitution of the Stars* (Wewnętrzny skład gwiazd), które opublikował tuż po odkryciu nowej dziedziny fizyki zwanej mechaniką kwantową, ale dwanaście lat przed oficjalnym uznaniem fuzji termojądrowej za główne źródło energii Słońca. W zgrabnie ujętych, choć pomijających szczegóły wstępnych uwagach do

książki Eddington poprawnie oddaje nastrój towarzyszący męczącej podróży fali eteru (fotonu):

> Wnętrze gwiazdy to kłębowisko atomów, elektronów i fal eteru. Aby zgłębić niuanse ich tańca, musimy się odwołać do najnowszych odkryć z dziedziny fizyki atomowej. (…) Spróbujcie sobie wyobrazić, jaki tam musi panować rozgardiasz! Rozczochrane atomy, obdarte podczas szamotaniny z pięknych płaszczy elektronów, z których teraz zostały tylko strzępy, pędzą pięćdziesiąt mil na sekundę. Pogubione elektrony gnają sto razy szybciej w poszukiwaniu nowych miejsc spoczynku. Uważajcie! Podczas jednej miliardowej części sekundy tysiące razy cudem udaje im się umknąć… Wtem… zostają złapane i związane z atomem. Mogłoby się wydawać, że na tym kończy się ich wolność, tymczasem kiedy tylko atomowi udaje się na nowo przyodziać, zderza się z nim kwant fali eteru, a wtedy elektron z hukiem uwalnia się i ucieka w poszukiwaniu dalszych przygód.

Entuzjastyczne podejście Eddingtona do tematu ani trochę nie słabnie w opisie eteru jako jedynego podróżującego ku powierzchni składnika Słońca:

> Przyglądając się tej inscenizacji, zadajemy sobie pytanie, czy to aby na pewno poważna sztuka na temat gwiezdnej ewolucji? Bardziej przypomina ona bowiem zabawne sceny tłuczenia porcelany rodem z musicalu. Komedia przepychanek fizyki atomowej najwyraźniej nie aspiruje do tego, aby zaspokajać nasze wysublimowane gusta. (…) Choć tak bardzo się spieszą, atomy i elektrony nigdy nigdzie nie docierają, tylko bezustannie zmieniają miejsce. Fale eteru jako jedyne mogą pochwalić się osiągnięciami – mimo iż pozornie przemieszczają się bez celu we wszystkich kierunkach, to chcąc nie chcąc stopniowo podążają na zewnątrz.

W zewnętrznej warstwie Słońca, dochodzącej do głębokości jednej czwartej jego promienia, transfer energii odbywa się głównie na zasadzie gwałtownej konwekcji – procesu przypominającego to, co dzieje się w garnku gotującego się rosołu lub jakiejkolwiek innej cieczy. Podczas gdy krople gorącej materii unoszą się, chłodniejsze opadają. Zdarza się, że

niczego nieświadome pracowite fotony wraz z kroplą, którą aktualnie zamieszkują, opadają setki tysięcy kilometrów w dół, często zaprzepaszczając tysiące lat przypadkowej wędrówki. Oczywiście może też być odwrotnie – wskutek konwekcji losowo poruszające się fotony mogą się znaleźć blisko powierzchni, co zwiększa ich szansę na ucieczkę.

To jednak jeszcze nie koniec naszej opowieści o podróży promieniowania gamma. Temperatura Słońca wynosząca w jego wnętrzu piętnaście milionów, a na powierzchni sześć tysięcy kelwinów, spada średnio o jedną setną stopnia na metr. W wyniku absorpcji i reemisji wysokoenergetyczne fotony gamma często znikają, a w ich miejsce pojawia się wiele fotonów o niższej energii. Do takich aktów altruizmu dochodzi we wszystkich zakresach widma: od promieniowania gamma poprzez promieniowanie rentgenowskie, ultrafioletowe i światło widzialne aż do podczerwieni. Energia pojedynczego fotonu gamma wystarcza na spłodzenie tysiąca fotonów promieniowania rentgenowskiego, z których każdy zrodzi z kolei tysiąc fotonów światła widzialnego. Innymi słowy, podczas losowej wędrówki ku powierzchni Słońca z jednego fotonu promieniowania gamma namnoży się ponad milion fotonów światła widzialnego i podczerwieni.

Z każdego pół miliarda fotonów wydostających się ze Słońca tylko jeden skieruje się w stronę Ziemi. Brzmi to może niezbyt imponująco, ale biorąc pod uwagę nasze rozmiary i odległość od Słońca, więcej raczej nam nie przysługuje. Pozostałe fotony rozchodzą się w innych kierunkach.

Warto zauważyć, że gazowa powierzchnia Słońca to właśnie ta warstwa, gdzie nasze przypadkowo poruszające się fotony stawiają swe ostatnie kroki przed ucieczką w przestrzeń międzyplanetarną. Tylko z tej warstwy światło może dotrzeć bez przeszkód do naszego oka, dzięki czemu możemy właściwie oszacować rozmiary Słońca. Dłuższe fale świetlne

wydobywają się z jego głębszych warstw. Średnica Słońca mierzona przy użyciu światła podczerwonego jest na przykład nieco mniejsza niż ta w nadfiolecie. Wartości podawane w większości podręczników opierają się zwykle na założeniu, że chodzi o pomiary z wykorzystaniem światła widzialnego.

Nie cała energia wyjątkowo płodnych promieni gamma zamienia się w fotony o niższej energii. Część z niej napędza zakrojoną na szeroką skalę burzliwą konwekcję, która wzbudza fale ciśnienia wywołujące w Słońcu wibracje – działa jak serce dzwonu sprawiające, że wydaje on dźwięk. Precyzyjne i skrzętnie przeprowadzane pomiary widma promieniowania słonecznego wskazują na obecność niewielkich drgań, porównywalnych do podpowierzchniowych fal dźwiękowych wywoływanych przez trzęsienia ziemi. Wzorce wibracji słonecznych są wyjątkowo skomplikowane, ponieważ wiele rodzajów drgań występuje w nich równocześnie. Heliosejsmolodzy za jedno ze swych największych wyzwań uważają rozpoznanie podstawowych elementów drgań na Słońcu, dzięki czemu mogliby dedukować na temat rozmiarów i budowy wywołujących je cech wewnętrznych. Podobnej analizy, tyle że dotyczącej naszego głosu, można by dokonać, krzycząc do wnętrza otwartego fortepianu. Fale dźwiękowe wzbudziłyby wówczas wibracje tych strun instrumentu, które odpowiadają zakresowi częstotliwości naszego głosu.

Grupa The Global Oscillation Network – GONG (jaki ładny skrót!) przeprowadziła skoordynowany projekt, którego celem było zbadanie drgań na Słońcu. Specjalnie wyposażone obserwatoria słoneczne, rozmieszczone we wszystkich strefach czasowych (na Hawajach, Wyspach Kanaryjskich, w Kalifornii, Chile, Indiach i Australii) pozwoliły na bezustanne obserwacje drgań. Ich długo wyczekiwane wyniki usankcjonowały większość współczesnych hipotez na temat budowy Słońca, w szczególności teorię

o tym, że energię w jego wewnętrznych warstwach przenoszą przypadkowo poruszające się fotony, a w zewnętrznych – burzliwa i rozległa konwekcja. Niektóre odkrycia są wielkie właśnie dlatego, że potwierdzają to, co od dawna podejrzewaliśmy.

Bohaterską przeprawę przez Słońce zdecydowanie lepiej powierzyć fotonom niż innym rodzajom energii lub materii. Gdybyśmy to my próbowali podjąć ten trud, to rzecz jasna zostalibyśmy roztarci na miazgę, wyparowalibyśmy, a atomy, z których zbudowane są nasze ciała, utraciłyby każdy związany z nimi elektron. Jestem sobie jednak w stanie wyobrazić, że gdyby nie te przeciwności, bilety na taką wyprawę sprzedawałyby się jak ciepłe bułeczki. Mnie jednak w zupełności wystarcza wiedza na ten temat. Kiedy się opalam, mam zawsze w pamięci, jaką drogę muszą pokonać fotony docierające do mojego ciała, bez względu na to, w którą jego część ostatecznie trafią.

6

Parada planet

Na miano najbardziej fascynującej opowieści o poznawaniu kosmosu z pewnością zasługuje trwająca przez wieki historia badania planet – niebieskich wędrowców przemieszczających się na tle gwiazd. Z ośmiu ciał Układu Słonecznego będących bez wątpienia planetami pięć można zobaczyć gołym okiem. Były one znane już w starożytności, a co bystrzejsi troglodyci też pewnie o nich wiedzieli. Każdej z tych planet – Merkuremu, Wenus, Marsowi, Jowiszowi i Saturnowi – przypisywano cechy boga, którego imieniem ją nazwano.

Najszybciej poruszający się na niebie Merkury został nazwany na cześć rzymskiego posłańca bogów, który na przedstawiających go wizerunkach zwykle posiada maleńkie i zupełnie bezużyteczne z aerodynamicznego punktu widzenia skrzydełka na piętach lub nakryciu głowy. Mars, jedyny z klasycznych wędrowców o czerwonym zabarwieniu (greckie słowo *planete* oznacza wędrowca), nosi imię rzymskiego boga wojny i rozlewu krwi. Oczywiście Ziemia też jest widoczna gołym okiem. Wystarczy spojrzeć w dół. *Terra firma* pod naszymi stopami nie była jednak uznawana za planetę aż do 1543 roku, kiedy to Mikołaj Kopernik przedstawił swój heliocentryczny model wszechświata.

Oglądane nieuzbrojonym okiem planety były i nadal są widoczne wyłącznie jako poruszające się po niebie świetlne punkty. Dopiero w XVII wieku wraz z rozpowszechnieniem teleskopu astronomowie odkryli, że są one obiektami kulistymi. Pierwsze badania planet z bliskiej odległości za pomocą sond kosmicznych zostały przeprowadzone dopiero w XX wieku, a załogowe loty pewnie nie będą możliwe wcześniej niż pod koniec XXI wieku.

Najwcześniejszych teleskopowych obserwacji niebieskich wędrowców dokonał Galileusz zimą na przełomie lat 1609/1610. Dowiedziawszy się o holenderskim wynalazku z 1608 roku, skonstruował on znakomity teleskop według własnego projektu, przez który planety wyglądały nie tylko jak kule, ale wręcz jak inne światy. Jedna z nich – olśniewająca Wenus – podobnie jak Księżyc przechodziła przez fazy nowiu, kwadr oraz pełni. Jowisz miał za to własne księżyce. Galileusz odkrył cztery największe, które na cześć wybranych postaci z kręgu Zeusa, odpowiednika Jowisza w mitologii greckiej, nazwano Ganimedes, Kallisto, Io i Europa.

Fazy Wenus i inne właściwości jej ruchu po niebie najłatwiej było wyjaśnić, opierając się na założeniu, że planety krążą wokół Słońca, a nie Ziemi. Obserwacje Galileusza zdecydowanie potwierdzały więc model wszechświata zaproponowany i opisany przez Kopernika.

Odkrycie księżyców Jowisza dostarczyło kolejnego argumentu potwierdzającego model kopernikański – mimo iż oglądane przez dwudziestokrotnie powiększający teleskop Galileusza były zaledwie plamkami światła, księżyce te okazały się pierwszymi zaobserwowanymi obiektami, które nie krążyły wokół Ziemi. To była prosta i rzetelna obserwacja kosmosu, ale Kościół rzymskokatolicki wespół z tak zwanym zdrowym rozsądkiem zupełnie ją odrzucił. Obserwacje teleskopowe Galileusza przeczyły dogmatowi stawiającemu Ziemię w centrum

wszechświata, czyli w punkcie, wokół którego krążą wszystkie inne ciała niebieskie. Galileusz opublikował swoje przekonujące obserwacje na początku 1610 roku w krótkiej rozprawie zatytułowanej *Sidereus nuncius* (Gwiezdny posłaniec).

*

Kiedy powszechnie zaakceptowano kopernikańską wizję kosmosu, konfigurację niebios zaczęto oficjalnie nazywać Układem Słonecznym, a Ziemia mogła w nim w końcu zająć swoje właściwe miejsce wśród sześciu znanych wówczas planet. Nikt się wtedy nie spodziewał, że może ich być więcej. Istnienie siódmej zaskoczyło nawet angielskiego astronoma sir Williama Herschela, który w 1781 roku dokonał jej odkrycia.

Tak naprawdę pierwszą osobą, która zaobserwowała siódmą planetę naszego układu, był brytyjski astronom królewski John Flamsteed, a miało to miejsce w 1690 roku. Nie zauważył on wówczas, aby nowo odkryty obiekt się poruszał, uznał go więc za kolejną gwiazdę i nazwał 34 Tauri. Kiedy Herschel zauważył ruch gwiazdy Flamsteeda na tle innych gwiazd, nie spodziewając się, że można jeszcze odkryć jakąkolwiek planetę, przyjął, że jest to nowa kometa. Komety, rzecz jasna, mogły się poruszać, co więcej – nic nie stało na przeszkodzie, by odkrywać nowe. Herschel chciał nazwać nowy obiekt Georgium Sidus (Gwiazdą Jerzego) na cześć swego chlebodawcy – króla Anglii Jerzego III. Gdyby środowisko astronomów zgodziło się na tę propozycję, wśród planet Układu Słonecznego mielibyśmy dziś Merkurego, Wenus, Marsa, Jowisza, Saturna i Jerzego. Ostatecznie jednak odrzucono ten gest uniżenia i planecie nadano nazwę Uran, nieco mniej odróżniającą się od klasycznych imion planetarnego rodzeństwa. Niemniej jednak niektórzy francuscy i amerykańscy

astronomowie woleli nazywać Uran „planetą Herschela” aż do 1850 roku, czyli nawet kilka lat po odkryciu ósmej planety naszego układu – Neptuna.

Choć jakość teleskopów wciąż się polepszała, astronomowie nadal nie mogli rozróżnić zbyt wielu szczegółów powierzchni obserwowanych planet. Nawet najlepsze teleskopy dawały nieco rozmyty obraz, spoglądały bowiem na niebo przez turbulentną ziemską atmosferę. Nie przeszkodziło to jednak dzielnym obserwatorom w odkryciu Wielkiej Czerwonej Plamy na Jowiszu, lodowych czap polarnych na Marsie, pierścieni Saturna i dziesiątek księżyców planetarnych. Mimo wszystko wiedza na temat planet była nadal stosunkowo uboga, a to, co nieznane, wiedzie ku nowym odkryciom i pobudza wyobraźnię.

*

Doskonałym przykładem tego ostatniego jest historia amerykańskiego biznesmena i astronoma z przełomu XIX i XX wieku Percivala Lowella, człowieka o bujnej wyobraźni, a przy tym zamożnego. Był on założycielem Lowell Observatory we Flagstaff w Arizonie, a jego nazwisko kojarzy się jeszcze z koncepcjami kanałów na Marsie, szprych na Wenus oraz z poszukiwaniami Planety X.

Podobnie jak wielu innych badaczy na świecie, Lowell zainspirował się sformułowaną pod koniec XIX wieku propozycją włoskiego astronoma Giovanniego Schiaparellego, by rzekomo obserwowane przez niego linie na Marsie nazwać *canali*.

Słowo to może oznaczać zarówno kanały sztuczne, jak i naturalne, a Lowell zdecydował się je błędnie przełożyć na język angielski jako *canals* (czyli kanały sztuczne), ponieważ owe linie rozmiarami miały odpowiadać ziemskim duktom wodnym. Wyobraźnia Lowella poniosła go do tego

stopnia, iż niemal całkowicie poświęcił się obserwowaniu Czerwonej Planety i tworzeniu map jej dróg wodnych, które w jego przekonaniu musiały zostać zbudowane przez inteligentnych Marsjan. Lowell wierzył, że kanały służyły im do transportu wody ze słynnych czap polarnych do miast położonych w gęściej zamieszkanych terenach równikowych, których zasoby wodne wcześnie się wyczerpały. To przemawiające do wyobraźni wytłumaczenie zyskało dużą popularność i zainspirowało wielu pisarzy.

Lowell był także zafascynowany Wenus – jedną z najjaśniejszych planet na nocnym niebie, permanentnie okrytą warstwą silnie odbijających światło chmur. Wenus krąży w dość bliskiej odległości od Słońca, a jej piękno można podziwiać w półmroku towarzyszącym zachodom i wschodom. Ponieważ niebo o poranku i tuż po zmroku jest dość barwne, służby porządkowe odbierają wtedy mnóstwo telefonów informujących o pojawieniu się na horyzoncie świetlistego niezidentyfikowanego obiektu.

Powierzchnię Wenus, według Lowella, pokrywała ogromna sieć rozchodzących się promieniście od środka szprych, które także miały być kanałami. Teoria ta długo pozostawała zagadką. W rzeczywistości nikt nigdy nie potwierdził obserwacji Lowella – ani tych dotyczących Marsa, ani Wenus. Współczesnych mu astronomów niespecjalnie to niepokoiło, wiedzieli bowiem, że jego górskie obserwatorium było jednym z najlepszych na świecie. Ponieważ w przeciwieństwie do Percivala żadnemu z badaczy nieba nigdy nie udało się zauważyć aktywności na Marsie, zakładali po prostu, iż lokalizacja jego obserwatorium i jakość zainstalowanych tam instrumentów są niedoścignione.

Oczywiście odkryć Lowella nie udało się potwierdzić nawet po tym, gdy znacznie poprawiły się parametry teleskopów. Dziś jego historia uświadamia nam, do czego może dochodzić, gdy wiara okazuje się ważniejsza niż konieczność zebrania dokładnych i rzetelnych danych. Co

ciekawe, dopiero w XXI wieku udało się ustalić, co tak naprawdę zdarzyło się w obserwatorium we Flagstaff.

W odpowiedzi na artykuł opublikowany w czerwcu 2002 roku w magazynie „Sky & Telescope” Sherman Schultz, optometrysta z Saint Paul w Minnesocie, napisał list, w którym zauważył, że układ optyczny wykorzystywany przez Lowella podczas obserwacji powierzchni Wenus przypominał urządzenie do badania wnętrza oka. Po skonsultowaniu swojej tezy z kilkoma specjalistami autor listu doszedł do wniosku, że to, co Lowell widział na powierzchni Wenus, było w rzeczywistości cieniem sieci naczyń krwionośnych oka rzucanym na jego siatkówkę. Porównanie rysunku szprych i modelu oka dowodzi, że lokalizacja kanałów odpowiada położeniu naczyń krwionośnych. Lowell cierpiał na nadciśnienie (wówczas naczynia krwionośne oka stają się wyraźne) i jeśli połączymy tę przypadłość z wiarą we własne przekonania, to fakt, iż zaliczył on Wenus i Marsa do planet tętniących inteligentnym i technologicznie zaawansowanym życiem, raczej nie jest zaskoczeniem.

Poszukiwania Planety X, rzekomo znajdującej się za Neptunem, także nie zakończyły się dla Lowella sukcesem. W połowie lat dziewięćdziesiątych zeszłego wieku astronom E. Myles Standish Jr. dowiódł bezsprzecznie, że Planeta X nie istnieje, chociaż Pluton odkryty w Lowell Observatory około trzynaście lat po śmierci jego założyciela – w lutym 1930 roku – przez pewien czas świetnie się sprawdzał w tej roli. W ciągu kilku tygodni od ogłoszenia przez obserwatorium wielkiego odkrycia niektórzy astronomowie zaczęli kwestionować słuszność nazywania Plutona dziewiątą planetą. Ponieważ w Rose Center for Earth and Space postanowiliśmy traktować Plutona jako kometę, chcąc nie chcąc stałem się uczestnikiem tej debaty i mogę was zapewnić, że była ona bardzo żywa. Wraz z innymi przeciwnikami nadawania Plutonowi statusu planety

twierdziliśmy, że może on być asteroidą, planetoidą, planetozymalem, dużym planetozymalem, lodowym planetozymalem, planetką, planetą karłowatą, gigantyczną kometą, obiektem Pasa Kuipera, obiektem transneptunowym, śnieżną kulą metanu, głupkowatym psem Myszki Miki, czymkolwiek – byle nie planetą numer dziewięć. Pluton jest bowiem zbyt mały i lekki, za dużo w nim lodu, porusza się po zbyt wydłużonej orbicie, a do tego jest po prostu niegrzeczny. Zresztą o pretendujących do miana planet obiektach, w tym trzech lub czterech niedawno odkrytych i znajdujących się dalej niż on, myślimy dokładnie tak samo – mają one porównywalne rozmiary i podobne maniery co Pluton.

*

W latach pięćdziesiątych minionego wieku wraz z upływem czasu i postępem techniki obserwacje w zakresie fal radiowych i z wykorzystaniem nowych technik fotograficznych zaowocowały fascynującymi informacjami na temat planet. W latach sześćdziesiątych Ziemię mogli opuścić ludzie, a także roboty, by cykać planetom rodzinne fotki. Każde nowe spostrzeżenie i zdjęcie sprawiały, że kurtyna niewiedzy unosiła się coraz wyżej.

Jak się okazało, nazwana na cześć rzymskiej bogini piękna i miłości Wenus ma gęstą, niemal nieprzejrzystą atmosferę o ciśnieniu stokrotnie wyższym od ziemskiego i składającą się praktycznie wyłącznie z dwutlenku węgla. Co gorsza, temperatura atmosfery na powierzchni planety sięga pięciuset stopni Celsjusza. Można by tam upiec pizzę pepperoni o średnicy czterdziestu centymetrów w siedem sekund, po prostu trzymając ją w powietrzu – policzyłem to! Tak ekstremalne warunki znacznie utrudniają bliższe zbadanie planety; cokolwiek byśmy na nią wysłali, w ciągu kilku

sekund uległoby zmiażdżeniu, stopiło się lub wyparowało. Aby zebrać dane na temat tego niegościnnego miejsca, trzeba być odpornym na wysoką temperaturę albo piekielnie szybkim.

To, że na Wenus jest tak gorąco, nie jest zresztą przypadkowe. W wyniku absorpcji promieniowania podczerwonego przez obecny w jej atmosferze dwutlenek węgla planeta zmaga się z potężnym efektem cieplarnianym. Mimo iż zewnętrzna warstwa chmur otaczających Wenus odbija większość światła widzialnego, które dociera do niej ze Słońca, gleba i skały na jej powierzchni pochłaniają przedostającą się przez nie część, a następnie wypromieniowują ją w postaci podczerwieni. Wskutek akumulacji promieniowania podczerwonego w atmosferze Wenus panują warunki przypominające wnętrze pieca do pizzy.

Nawiasem mówiąc, gdyby kiedyś udało się znaleźć jakichkolwiek obcych na Wenus, pewnie nazwalibyśmy ich Wenusjanami na wzór Marsjan, choć kierując się zasadami tworzenia przymiotników dzierżawczych w łacinie, powinniśmy raczej określić ich mianem Weneryków. Niestety, lekarze zaczęli używać tego terminu wcześniej niż astronomowie i chyba trudno się temu dziwić. Choroby weneryczne były znane, zanim powstała astronomia, bo wśród najstarszych zawodów świata astronomowie plasują się dopiero na drugim miejscu.

Niemal z każdym dniem coraz lepiej poznajemy także pozostałe obiekty Układu Słonecznego. Pierwszą sondą kosmiczną, która dotarła w pobliże Marsa (w 1965 roku) i wysłała zdjęcia Czerwonej Planety wykonane z bliskiej odległości, był Mariner 4. Nie licząc fantazji Lowella, przed rokiem 1965 nikt nie wiedział, jak wygląda powierzchnia Marsa, oprócz tego, że jest czerwonawa z jaśniejszymi i ciemniejszymi plamami i ma lodowe czapy polarne. Nie było wiadomo, że na Marsie są pasma górskie i kaniony znacznie szersze, głębsze i dłuższe niż Wielki Kanion, ani że jego

wulkany przewyższają hawajski Mauna Kea, największy wulkan na Ziemi, nawet jeśli zmierzymy go od dna oceanu.

Nie brakuje też dowodów na to, że na Marsie była kiedyś woda – po jego powierzchni wiją się bowiem suche koryta rzek o szerokości i długości Amazonki; widoczne są także pozostałości sieci dopływów, delt i obszarów zalewowych. Badając pylistą i usianą skałami powierzchnię Czerwonej Planety centymetr po centymetrze, łaziki marsjańskie potwierdziły na niej obecność minerałów, które tworzą się wyłącznie z udziałem wody. Oznak zasobów wodnych z przeszłości jest więc aż nadto, ale nie pozostała z nich ani kropelka.

Coś niedobrego musiało się zdarzyć zarówno na Marsie, jak i na Wenus. Czy Ziemi też grozi podobne niebezpieczeństwo? Jako gatunek coraz ryzykowniej korzystamy ze środowiska naturalnego, nie bacząc na długofalowe skutki naszych poczynań. Kto by pomyślał, że badania naszych najbliższych kosmicznych sąsiadów – Marsa i Wenus – zmuszą nas do autorefleksji?

*

Bliższe przyjrzenie się dalej położonym planetom wymaga sond kosmicznych. Pierwszymi, które opuściły Układ Słoneczny, były sonda Pioneer 10 (wystrzelona w 1972 roku) oraz bliźniacza Pioneer 11 (wystrzelona w kolejnym roku). Dwa lata później, na początku swojej długiej podróży, przelatywały one blisko Jowisza. Za kilka lat znajdą się w odległości dwudziestu miliardów kilometrów od Ziemi, czyli prawie cztery razy dalej niż Pluton*.

W momencie wystrzelenia Pioneery 10 i 11 nie posiadały wystarczających zasobów energii, aby dolecieć dalej niż do Jowisza. W jaki

zatem sposób udało się im dotrzeć tak daleko? Po wyznaczeniu celu podróży i odpaleniu rakiet sondy docierają do miejsc przeznaczenia, korzystając z sił grawitacyjnych mijanych przez nie obiektów Układu Słonecznego. Astrofizycy opracowują trajektorie ich lotu bardzo dokładnie, dzięki czemu mogą one podkradać energię orbitalną planet, przelatując w ich pobliżu w manewrze przypominającym strzelanie z procy. Fachowcy od dynamiki lotów tak się wyspecjalizowali w tych tak zwanych asystach grawitacyjnych, że bilardowi kanciarze mogą im tylko pozazdrościć.

Sondy Pioneer 10 i 11 przesłały zdjęcia znacznie lepszej jakości, niż moglibyśmy kiedykolwiek wykonać z Ziemi, ale dopiero kolejne bliźniacze sondy Voyager 1 i 2, wystrzelone w 1977 roku i wyposażone w zestawy do wykonywania eksperymentów i obrazowania, uczyniły z planet zewnętrznych prawdziwe kosmiczne ikony. Dzięki obrazom z Voyagerów Układ Słoneczny pojawił się w telewizorach na całym świecie. Jednym z nieoczekiwanych odkryć towarzyszących tym lotom kosmicznym była zaskakująca informacja, że księżyce planet olbrzymów są równie różnorodne i fascynujące jak one same, przez co te nieciekawe dotąd punkty świetlne stały się obiektami godnymi naszej uwagi i sympatii.

W chwili, kiedy pisałem te słowa, wysłany przez NASA orbiter Cassini okrążał Saturna, szczegółowo badając zarówno samą planetę, jak i spektakularny układ jej pierścieni oraz liczne księżyce. Po dotarciu w okolice Saturna po poczwórnej asyście grawitacyjnej sonda Cassini umieściła w przestrzeni kosmicznej sondę-córkę – próbnik Huygens, zaprojektowany przez Europejską Agencję Kosmiczną i nazwany na cześć holenderskiego astronoma Christiaana Huygensa, który jako pierwszy odkrył charakter pierścieni Saturna. Próbnik zanurzył się w gazowej powłoce największego satelity tej planety – Tytana, jedynego księżyca w Układzie Słonecznym okrytego gęstą atmosferą. Powierzchnia Tytana,

obfitująca w cząsteczki organiczne, najprawdopodobniej jest pod względem chemicznym najbliższym odpowiednikiem Ziemi z okresu, zanim pojawiło się na niej życie. NASA planuje już kolejne zaawansowane misje, których zadaniem będzie dokładne zbadanie Jowisza i jego ponad siedemdziesięciu księżyców.

*

W 1584 roku włoski mnich i filozof Giordano Bruno w swoim dziele zatytułowanym *O nieskończoności, wszechświecie i światach* zasugerował istnienie „niezliczonych słońc i krążących wokół nich światów”. Zakładając wszechmoc Stwórcy, Bruno twierdził również, że każdy z tych światów zamieszkują istoty żywe. Za te i inne herezje Kościół katolicki spalił go na stosie.

Jednak Giordano Bruno nie był ani pierwszym, ani ostatnim głosicielem tej teorii, choć przyjmowała ona na przestrzeni dziejów różne wersje. Wśród jego poprzedników należy wymienić greckiego filozofa Demokryta z piątego wieku przed naszą erą oraz piętnastowiecznego kardynała Mikołaja z Kuzy, a wśród następców – osiemnastowiecznego filozofa Immanuela Kanta i dziewiętnastowiecznego powieściopisarza Honoriusza Balzaka. Bruno miał po prostu pecha, bo urodził się w epoce, w której za takie poglądy groziła śmierć.

W dwudziestym stuleciu astronomowie uznali, że życie na innych niż Ziemia planetach byłoby możliwe pod warunkiem, że krążyłyby one wokół swej gwiazdy w tak zwanej strefie zamieszkiwalnej – niezbyt blisko, by woda nie wyparowała, ale i niezbyt daleko, by nie zamarzła. Powstanie znanych form życia bez wątpienia nie byłoby możliwe bez udziału wody

w płynnej postaci, ale przyjmowano też drugi warunek konieczny: światło gwiazd jako podstawowe źródło energii.

Później odkryto, że księżyce Jowisza – Io oraz Europa – a także inne ciała Układu Słonecznego leżące za pasem planetoid czerpią energię ze źródeł innych niż Słońce. Wypluwająca do swej atmosfery związki siarki i ociekająca lawą Io jest miejscem najintensywniejszej aktywności wulkanicznej w Układzie Słonecznym. Natomiast pod lodową skorupą Europy z bardzo dużym prawdopodobieństwem znajduje się liczący miliard lat, głęboki i wielki jak ocean zbiornik wody. W obydwu wypadkach energia wewnętrzna księżyców, wywołująca topienie lodów i prowadząca do powstawania środowisk, w których możliwe jest życie niezależne od energii dochodzącej ze Słońca, to wynik działania sił pływowych Jowisza.

Na Ziemi zaś istnieją organizmy, znane pod ogólną nazwą ekstremofili, które przeżywają w warunkach bardzo nieprzyjaznych dla człowieka. Pierwotna koncepcja strefy zamieszkiwalnej błędnie zakładała, że idealne warunki do życia zapewnia temperatura pokojowa. Tymczasem okazuje się, że dla niektórych gatunków jest ona zagrożeniem, za to uwielbiają one kilkusetstopniowe kąpiele. Dla nich to my jesteśmy ekstremofilami. Wiele z tych stworzeń zamieszkuje miejsca, które dotąd uznawano za pozbawione życia, na przykład dno Doliny Śmierci, ujścia kominów hydrotermalnych w otchłaniach oceanów czy składowiska odpadów promieniotwórczych.

Świadomość, że obecność istot żywych jest możliwa w wielu innych miejscach, niż wcześniej zakładano, sprawiła, iż astrobiolodzy rozszerzyli pojęcie strefy zamieszkiwalnej.

Dziś wiemy już, że jej definicja musi uwzględniać odporność nowo odkrytych drobnoustrojów na ekstremalne warunki środowiska oraz szeroki zakres źródeł energii podtrzymujących ich funkcjonowanie. W ciągu ostatniej dekady odnotowano też gwałtowny wzrost liczby planet

odkrywanych poza Układem Słonecznym. Wynosi ona już prawie cztery tysiące obiektów, co wydaje się potwierdzać teorie Giordana Bruna i innych badaczy.

A zatem twierdząc, że życie jest możliwe praktycznie wszędzie, wskrzeszamy idee naszych przodków. Różnica polega na tym, że dziś nie musimy się obawiać spalenia na stosie i że dysponujemy nowo odkrytą wiedzą. Okazuje się bowiem, że życie jest odporne, a strefa zamieszkiwalna może rozciągać się na cały wszechświat.

---

* Ten fragment książki zawiera zaktualizowane w stosunku do oryginału dane liczbowe (przyp. red.).

7

Tułacze Układu Słonecznego

Przez całe stulecia skład naszego niebiańskiego otoczenia pozostawał dość stabilny i obejmował Słońce, gwiazdy, planety, garść księżyców oraz komety. Podstaw organizacyjnych tego układu nie zmieniło nawet dodanie jednej czy dwóch nowych planet.

1 stycznia 1801 roku pojawił się jednak obiekt nowej kategorii – asteroida*. Nazwę temu ciału niebieskiemu nadał w 1802 roku angielski astronom sir John Herschel, syn słynnego Williama – odkrywcy Urana. W ciągu kolejnych dwóch stuleci rodzinny album Układu Słonecznego zapełnił się danymi, zdjęciami i historiami z życia asteroid – astronomowie odkrywali bowiem coraz więcej tych kosmicznych tułaczy, badali ich pochodzenie, analizowali skład, szacowali wielkość, mapowali kształt, obliczali orbity, a nawet rozbijali na powierzchni co poniektórych sondy kosmiczne. Część badaczy zwracała uwagę, że asteroidy mogą być spokrewnione z kometami, a nawet księżycami. A dziś astrofizycy i inżynierowie pracują nad sposobami zmiany trajektorii tych spośród nich, które mają słuszne rozmiary i mogą wybierać się do nas z niezapowiedzianą wizytą.

*

Aby zgłębić naturę mniejszych obiektów Układu Słonecznego należy najpierw przyjrzeć się tym większym, w szczególności planetom. Dotyczy ich pewien ciekawy fakt, zawarty w prostej matematycznej regule sformułowanej w 1766 roku przez pruskiego astronoma Johanna Daniela Titiusa. Kilka lat później spopularyzował ją jego kolega Johann Elert Bode, ale pominął udział faktycznego autora; dziś znana jest ona jako reguła Titiusa-Bodego lub po prostu reguła Bodego. Ten niezwykle pomocny wzór pozwala z dość dużą dokładnością oszacować odległości planet od Słońca (w każdym razie tych, które były wówczas znane, czyli Merkurego, Wenus, Ziemi, Marsa, Jowisza i Saturna). Imponujące jest, że w 1781 roku powszechna wśród astronomów znajomość reguły Titiusa-Bodego pomogła odkryć Neptuna, ósmą planetę od Słońca. Wygląda więc na to, że albo reguła ta zawiera jakąś fundamentalną prawdę o Układzie Słonecznym, albo jest wyjątkowo szczęśliwym zbiegiem okoliczności.

Reguła Titiusa-Bodego ma jednak swoje mankamenty.

Po pierwsze, aby obliczyć dokładną odległość między Słońcem a Merkurym, trzeba trochę pooszukiwać i w miejscu, gdzie we wzorze powinna być podstawiona wartość 1,5, należy wpisać zero. Drugi problem dotyczy Neptuna, który – jak się okazuje – znajduje się znacznie dalej, niż to wynika ze wzoru; mniej więcej w takiej odległości od Słońca, w jakiej powinna znajdować się dziewiąta w kolejności planeta. Zresztą – i to jest trzeci problem – odległość odstającego od pozostałych planet także pod wieloma innym względami Plutona, w którym niektórzy długo upatrywali dziewiątą planetę**, również w dużym stopniu odbiega od wartości wynikającej ze wzoru.

Reguła Titiusa-Bodego przewidywała również istnienie planety krążącej między Marsem i Jowiszem w odległości około 2,8 au (jednostek astronomicznych)*** od Słońca. Astronomowie z końca XVIII wieku, zainspirowani odkryciem Urana w miejscu przewidzianym prawem Titiusa-Bodego, postanowili przyjrzeć się bliżej obszarowi oddalonemu od Słońca o mniej więcej 2,8 au. I tak 1 stycznia 1801 roku włoski astronom Giuseppe Piazzi, założyciel obserwatorium w Palermo, dostrzegł znajdujący się tam zgodnie z przewidywaniami obiekt, który jednak krótko potem zniknął w blasku Słońca. Dokładnie rok później, korzystając z genialnych obliczeń niemieckiego matematyka Carla Friedricha Gaussa, obiekt ów odnaleziono, ale w innym miejscu na niebie. W atmosferze wielkiego podekscytowania ogłoszono odkrycie nowej planety oraz wielki tryumf matematyki i techniki teleskopowej. Kontynuując tradycję nadawania planetom imion rzymskich bóstw, Piazzi nazwał ją Ceres na cześć bogini wegetacji i urodzaju (przy okazji: *cereal* w języku angielskim oznacza zboże).

Po bliższym przyjrzeniu się nowemu obiektowi, obliczeniu jego trajektorii oraz oszacowaniu odległości i jasności astronomowie skonstatowali, że nowa planeta jest bardzo mała. W ciągu kilku kolejnych lat w tym samym pasie przestrzeni odkryto następne niepozorne planety – Pallas, Juno i Westę. Po pewnym czasie zaczęto je nazywać ukutym przez Herschela terminem „asteroidy” (dosłownie oznaczającym ciała gwiazdopodobne), bo w przeciwieństwie do planet, które przez ówczesne teleskopy wyglądały jak dyski, asteroid nie można było odróżnić od gwiazd poza tym, że się poruszały. W wyniku dalszych obserwacji liczba asteroid zaczęła gwałtownie rosnąć. Pod koniec XIX wieku wewnątrz i wokół pasa niebiańskiej nieruchomości pod adresem 2,8 au zidentyfikowano ich już 464. Ponieważ asteroidy nie krążą wokół Słońca ze wszystkich stron jak

chmara pszczół wokół ula, lecz pozostają w obszarze przypominającym dość płaską wstęgę, nazwano go pasem asteroid.

Do dziś udało się skatalogować dziesiątki tysięcy asteroid, a każdego roku odkrywanych jest wiele nowych. Według niektórych oszacowań długość i szerokość ponad miliona z nich wynosi zaledwie niecały kilometr. Zrezygnowano już z nadawania asteroidom imion rodem z rzymskiej mitologii, gdyż bez względu na to, jak skomplikowane życie towarzyskie wiodły antyczne bóstwa, żadne z nich raczej nie miało dziesięciu tysięcy znajomych. Asteroidy mogą więc teraz być nazywane na cześć aktorów, malarzy, filozofów i dramaturgów, a także miast, państw, dinozaurów, kwiatów, pór roku i tym podobnych. Niektóre z nich mają nawet całkiem zwykłe imiona, takie jak 1744 Harriet, 2316 Jo-Ann czy 5051 Ralph, a poprzedzające je liczby to kolejne numery katalogowe nadawane w momencie dokładnego wyznaczenia ich orbity. Urodzony w Kanadzie astronom amator, patron polujących na komety i odkrywca wielu asteroid David H. Levy był tak uprzejmy, że jedną z nich nazwał na moją cześć: 13123 Tyson. Było to krótko po otwarciu Rose Center for Earth and Space, wartego dwieście czterdzieści milionów dolarów ośrodka, którego misją jest sprowadzanie kosmosu na Ziemię. Gest Davida bardzo mnie wzruszył, ale na wszelki wypadek sprawdziłem, po jakiej orbicie porusza się 13123 Tyson. Z ulgą stwierdziłem, że asteroida ta krąży wśród wielu innych w głównym pasie i nie jest na kursie kolizyjnym z naszą orbitą, a tym samym nie zagraża życiu na Ziemi.

*

Jedyną kulistą asteroidą o średnicy około 950 kilometrów jest Ceres. Pozostałe to dużo mniejsze, chropowate odłamki przypominające kształtem

kości lub ziemniaki. Co ciekawe, masa samej Ceres to mniej więcej jedna czwarta masy wszystkich pozostałych asteroid, a całkowita masa tych, których rozmiary pozwalają je dojrzeć, oraz mniejszych, których istnienie można wydedukować z dostępnych danych, wynosi około 5 procent masy naszego Księżyca, a więc znacznie mniej niż masa pojedynczej planety. Opierające się na regule Titiusa-Bodego przewidywania, że w odległości 2,8 au od Słońca znajduje się planeta z krwi i kości, były więc nieco przesadzone.

Większość asteroid zbudowana jest wyłącznie ze skał, niektóre składają się tylko z metali, a jeszcze inne – z ich mieszanki. Przeważająca część tych ciał niebieskich znajduje się w tak zwanym pasie głównym usytuowanym pomiędzy Marsem i Jowiszem. Powszechnie uważa się, że asteroidy powstały z tych pozostałości po wczesnym etapie formowania się Układu Słonecznego, które nie weszły w skład planet. Wyjaśnienie to jest jednak co najmniej niekompletne i nie tłumaczy, dlaczego niektóre asteroidy są czysto metaliczne. Aby dotrzeć do sedna sprawy, należy najpierw zrozumieć, w jaki sposób utworzyły się większe obiekty w Układzie Słonecznym.

Planety powstają z obłoku gazu i pyłu wzbogaconego o rozproszone pozostałości po obfitujących w cięższe pierwiastki wybuchających gwiazdach. Zapadając się, obłok najpierw tworzy protoplanetę – zlepek stałej materii, który w wyniku gromadzenia coraz to większej ilości materiału zaczyna się nagrzewać. Większe protoplanety podlegają następnie dwóm procesom. Otóż po pierwsze, zaczynają one przybierać postać kul. Jednocześnie ich ciepło wewnętrzne utrzymuje ich budulec w stanie ciekłym na tyle długo, że ciężkie pierwiastki – głównie żelazo, ale także odrobina niklu i śladowe ilości takich metali jak kobalt, złoto i uran – zapadają się do wnętrza powiększających się obiektów. Tymczasem powszechniej występujące lżejsze atomy – na przykład wodór, węgiel, tlen

i krzem – unoszą się na ich powierzchnię. Niestroniący od wielosylabowych słów geologowie nazywają ten proces dyferencjacją. Jądra planet, które uległy dyferencjacji, czyli takich jak Ziemia, Mars i Wenus, składają się z metali, a ich płaszcze i skorupy zajmujące znacznie większą objętość są głównie skaliste.

Jeśli takie planety po wychłodzeniu zderzą się z innymi i zostaną unicestwione, ich pozostałości będą nadal krążyć wokół Słońca mniej więcej po takich samych orbitach jak pierwotne ciała niebieskie. Pozostałości te są głównie skaliste, ponieważ pochodzą z grubszych, zewnętrznych warstw zróżnicowanych obiektów, a tylko niewielka ich część będzie zbudowana wyłącznie z metali. Tak właśnie jest w wypadku asteroid. Powstanie kawałka żelaza w przestrzeni międzygwiezdnej jest niemożliwe, gdyż potrzebne do jego utworzenia pojedyncze atomy są początkowo zbyt rozproszone w obłoku złożonym głównie z wodoru i helu. Do skoncentrowania atomów żelaza może dojść tylko w obiekcie pierwotnie ciekłym, który następnie uległ dyferencjacji.

*

Skąd jednak wiadomo, że większość asteroid z pasa głównego jest skalista? Skąd pochodzą jakiekolwiek informacje na ich temat? Kluczowym parametrem asteroidy jest jej zdolność do odbijania światła, czyli albedo. Asteroidy nie emitują własnego światła, a jedynie pochłaniają i odbijają promienie słoneczne. Czy 1744 Harriet odbija podczerwień, czy może ją pochłania? A jak to jest ze światłem widzialnym i promieniowaniem ultrafioletowym? Różne materiały w różnym stopniu pochłaniają i odbijają światło. Jeśli jesteście dobrze obeznani z widmem światła słonecznego (tak jak astrofizycy) i jeśli dokładnie przeanalizujecie widmo światła

słonecznego odbitego od danej asteroidy (tak jak to robią astrofizycy), będziecie mogli wykryć zmiany, jakie w nim zaszły przy odbiciu, i na tej podstawie określić, z jakiego materiału zbudowana jest powierzchnia badanego obiektu. Znając zaś ów materiał, będziecie wiedzieć, ile światła odbija, co w zestawieniu z odległością do asteroidy pozwoli wam oszacować jej wielkość. W ten sposób astrofizycy starają się wytłumaczyć jasność poszczególnych asteroid na niebie: niektóre są duże, ale słabo odbijają światło, inne zaś mogą być małe, lecz mocno odbijające; pozostałe plasują się gdzieś pomiędzy. Bez znajomości składu asteroidy i posiłkując się jedynie ich jasnością, nie możecie być pewni, z którym przypadkiem macie do czynienia.

Dzięki metodzie analizy widmowej powstała pierwsza uproszczona klasyfikacja asteroid obejmująca trzy typy: typ C to asteroidy bogate w węgiel, typ S – asteroidy zbudowane głównie ze związków krzemu oraz typ M – asteroidy obfitujące w pierwiastki metaliczne. Dokładniejsze badania wykazały jednak, że asteroidy różnią się między sobą wieloma ważnymi szczegółami i aby oznaczyć wszystkie znane dziś grupy klasyfikacyjne potrzebujemy już ponad połowy alfabetu. Wygląda więc na to, że za ich powstanie nie była odpowiedzialna samotna planeta-matka, która rozprysła się w drobny pył, ale że miały one wielu rodziców.

Skład chemiczny asteroid powinien do pewnego stopnia warunkować ich gęstość. Tymczasem w wyniku porównania wielkości i mas niektórych z nich otrzymano wartości mniejsze niż gęstość skał. Zaczęto więc podejrzewać, że część asteroid może nie mieć litej budowy. Zastanawiano się, jaką domieszkę mogłyby w takim razie posiadać. Może jest w nich lód? To jednak mało prawdopodobne. Pas asteroid znajduje się na tyle blisko Słońca, że każdy rodzaj lodu (zamarznięta woda, amoniak czy dwutlenek węgla) o gęstości mniejszej niż gęstość skał szybko wyparowałby pod

wpływem pochodzącego ze Słońca ciepła. Możliwe, że asteroidy częściowo zawierają puste przestrzenie i są poruszającym się kolektywnie zbiorem odłamków skał.

Ta hipoteza potwierdziła się 28 sierpnia 1993 roku, kiedy sonda Galileo wykonała zdjęcia długiej na 56 kilometrów asteroidy Ida. Pół roku później około 90 kilometrów od środka Idy zauważono maleńki odłamek. Jak się okazało, był to księżyc o kształcie otoczaka i średnicy około półtora kilometra. Nazwano go Daktylem. Był to pierwszy odkryty satelita asteroidy. Czy satelity są czymś wyjątkowym? Skoro asteroida może posiadać orbitujący wokół niej księżyc, to czy może ich być więcej, na przykład dwa, dziesięć lub sto? Czyżby niektóre asteroidy były po prostu stertami kamieni?

Odpowiedź brzmi: tak, jak najbardziej. Niektórzy astrofizycy uważają nawet, że większość asteroid to właśnie „sterty gruzu” (*rubble pile*), bo tak się je teraz oficjalnie nazywa (jak zwykle w wypadku astrofizyków sedno sprawy przeważyło nad wielosylabową rozwlekłością). Skrajnym przykładem takiego obiektu może być Psyche o średnicy 122 kilometrów. Odbija ona światło, co może oznaczać, że jej powierzchnia jest metaliczna. Szacunkowa gęstość tej asteroidy sugeruje jednak, iż ponad 70 procent jej objętości to pusta przestrzeń.

*

Poza głównym pasem asteroid w Układzie Słonecznym znajduje się wielu innych kosmicznych tułaczy, a wśród nich przecinające orbitę Ziemi potencjalnie śmiercionośne asteroidy, komety i liczne księżyce. Komety są jak kosmiczne kule śnieżne. Zwykle nie mają więcej niż kilka kilometrów średnicy i zbudowane są z konglomeratu zamarzniętych gazów i wody, pyłu

i innych cząstek. Możliwe, że są asteroidami, których lodowa powłoka niezupełnie wyparowała. To, czy dany obiekt jest kometą, czy asteroidą, w dużej mierze zależy od tego, gdzie powstał i gdzie się podziewał. Przed publikacją prawa powszechnego ciążenia Newtona w dziele pod tytułem *Principia* z 1687 roku nie zdawano sobie sprawy, że komety krążą między planetami po bardzo wydłużonych orbitach, dzięki czemu mogą wykraczać poza granice Układu Słonecznego i znów do niego powracać. Te zlodowaciałe obiekty, powstające na obrzeżach Układu Słonecznego, w Pasie Kuipera lub jeszcze dalej, krążąc po charakterystycznych wydłużonych trajektoriach wokół Słońca, po przekroczeniu orbity Jowisza pozostawiają za sobą rozrzedzony, ale dobrze widoczny ślad pary wodnej i innych lotnych gazów. Czasem odbywają one setki, a nawet tysiące takich wycieczek do wnętrza Układu Słonecznego, pozbywając się w końcu zupełnie warstwy lodu i zmieniając się w skalisty odłamek. Przeważająca większość przecinających orbitę ziemską asteroid to prawdopodobnie nieprzestające nas prześladować „zużyte” komety.

Kosmiczne odłamki lądujące na powierzchni Ziemi to meteoryty. Większość z nich jest skalista, a niektóre metaliczne, co świadczy o tym, że mogą pochodzić z pasa asteroid. Badający je planetarni geologowie z czasem zauważyli, że nie wszystkie z nich przylatują do nas stamtąd.

Hollywoodzkie produkcje lubią nam przypominać, że Ziemi grozi zderzenie z asteroidą lub kometą. Prawdopodobieństwo takiego zdarzenia nie było jednak uważane za znaczące aż do 1963 roku, kiedy to astronom i geolog Eugene M. Shoemaker bezsprzecznie dowiódł, że powstanie liczącego pięćdziesiąt tysięcy lat Krateru Barringera w okolicach Winslow w Arizonie może być wyjaśnione wyłącznie jako efekt uderzenia meteorytu, a nie aktywności wulkanicznej lub innych ziemskich procesów geologicznych.

W dalszych rozdziałach przekonamy się, w jaki sposób odkrycie Shoemakera wpłynęło na wzrost zainteresowania przecinaniem się orbit Ziemi i asteroid. W latach dziewięćdziesiątych agencje kosmiczne zaczęły monitorować poruszające się w pobliżu Ziemi komety i asteroidy, których orbity – jak to ładnie ujmuje NASA – „pozwalają im znaleźć się w naszym bezpośrednim sąsiedztwie”.

*

Na bardziej oddalone asteroidy i ich kosmiczną brać ogromny wpływ ma Jowisz. Równowaga sił oddziaływania grawitacyjnego Słońca i Jowisza zgromadziła dwie rodziny asteroid – jedna wyprzedza Jowisza, a druga podąża za nim po jego orbicie, obie w odległości kątowej 60 stopni. Połączone z Jowiszem i Słońcem liniami prostymi, tworzą one dwa trójkąty równoboczne, a z geometrii wynika, że ich odległość zarówno od Jowisza, jak i od Słońca wynosi 5,2 au. Te złapane w pułapkę równowagi sił obiekty znane są jako asteroidy trojańskie, a punkty, wokół których się koncentrują, noszą nazwę punktów libracyjnych. W następnym rozdziale pokażemy, że obszary takie działają jak wiązki holownicze, które mocno trzymają dryfujące za nimi asteroidy.

Jowisz zmienia również kurs wielu podążających w kierunku Ziemi komet. Większość z nich pochodzi z Pasa Kuipera, zaczynającego się na orbicie okołosłonecznej Plutona i sięgającego daleko poza jej granice. Każda kometa, która jest wystarczająco odważna, by zdecydować się na przelot w pobliżu Jowisza, zostaje odchylona z kursu. Gdyby nie stojący na straży naszej kosmicznej fosy Jowisz, Ziemia byłaby znacznie częściej bombardowana przez komety. I rzeczywiście: Obłok Oorta – przeogromne zbiorowisko komet rozciągające się na zewnętrznych krańcach Układu

Słonecznego (i nazwane na cześć duńskiego astronoma, który jako pierwszy przewidział jego istnienie) – uznaje się często za zgrupowanie odchylonych przez Jowisza komet z Pasu Kuipera. Przemawia za tym fakt, że komety z Obłoku Oorta krążą po orbitach sięgających połowy drogi do najbliższych gwiazd.

A co z księżycami? Niektóre z nich wyglądają jak przechwycone asteroidy, na przykład niewielkie, słabo widoczne, przypominające kształtem ziemniaki księżyce Marsa – Fobos i Deimos. Inne, tak jak kilka z satelitów Jowisza i jeden z księżyców Plutona, niewiele mniejszy od niego Charon, pokryte są lodem, zresztą podobnie jak sam Pluton. Może więc powinny być traktowane jako komety albo podwójne komety? Jestem przekonany, że Pluton nie miałby nic przeciwko temu.

*

Kilkanaście komet i asteroid udało się zbadać za pomocą statków kosmicznych. Pierwszym z nich była amerykańska w pełni zautomatyzowana sonda o rozmiarach samochodu – NEAR Shoemaker (skrót NEAR, czyli blisko, to zmyślny akronim od „Near Earth Asteroid Rendezvous”, czyli „Spotkania Asteroid Bliskich Ziemi”), która tuż przed walentynkami w 2001 roku odwiedziła niezbyt odległą od nas asteroidę Eros (cóż za szczęśliwy zbieg okoliczności!). Ponieważ sondzie udało się wylądować na jej powierzchni z prędkością około 6 km/h, wszystkie urządzenia na pokładzie pozostały w nienaruszonym stanie i wysyłały na Ziemię dane aż przez dwa kolejne tygodnie. Geologom planetarnym udało się dzięki temu z dużą pewnością ustalić, że długi na 34 kilometry Eros jest niezróżnicowanym, skonsolidowanym obiektem, a nie stertą gruzu.

W kolejną ambitną misję wyruszyła sonda Stardust, która podczas lotu przecięła komę, czyli obłok pyłu otaczający rdzeń komety, aby przy pomocy specjalnych kolektorów wypełnionych aerożelem wyłapać miniaturowej wielkości drobinki. Jej zadaniem było zidentyfikowanie rodzajów pyłu obecnego w komie i pobranie próbek w sposób zapobiegający ich zniszczeniu. NASA wykorzystała w tym celu aerożel – cudowny, przypominający ducha wynalazek. Jest to rodzaj wysuszonej krzemionkowej piany, która w 99,8 procent jest powietrzem. Cząsteczka, która uderza w aerożel z naddźwiękową prędkością, drąży w nim tunel i po pewnym czasie zatrzymuje się w nieuszkodzonym stanie. Próby złapania takiej pędzącej drobinki pyłu rękawicą łapacza lub czymkolwiek innym wskutek gwałtownego zatrzymania skończyłyby się jej natychmiastowym wyparowaniem.

Sondy badające komety i asteroidy wysyła także Europejska Agencja Kosmiczna. Zaplanowana na dwanaście lat misja Rosetta ma przez dwa lata badać jedną z komet z bardzo bliskiej odległości, gromadząc rekordowe ilości danych, a potem przemieścić się w kierunku kilku asteroid z pasa głównego****.

Każde spotkanie z tułającymi się po kosmosie obiektami ma na celu zebranie jak najdokładniejszych informacji na temat kształtowania się i ewolucji Układu Słonecznego, obecnych w nim obiektów i prawdopodobieństwa przekazywania na Ziemię materii organicznej wskutek zderzeń z nimi; badamy też rozmiary, kształt i gęstości ciał niebieskich znajdujących się w pobliżu naszej planety. Jak zwykle sam opis danego obiektu nie daje nam jeszcze perspektywy, którą zyskujemy dopiero wówczas, gdy nowo pozyskane informacje zinterpretujemy w szerszym kontekście posiadanej wiedzy i kierunku, w którym się ona rozwija. Z naszego punktu widzenia kierunek ten wyznacza poszukiwanie innych

układów słonecznych. Zadaniem naukowców jest teraz dokładne porównanie obiektów z Układu Słonecznego z planetami i tułaczami znajdującymi się poza nim. Dzięki temu dowiemy się, czy mieszkamy w normalnym domu, czy może nasza słoneczna rodzina jest dysfunkcyjna.

---

* Zwana również planetoidą (przyp. red.).

** Na naszych wystawach w Rose Center for Earth and Space w Nowym Jorku pokrytego lodem Plutona zaliczamy do „władców komet”. Wydaje się nam, iż Pluton doceniłby to określenie; jest ono bowiem nie tylko trafne, ale i znacznie bardziej pochlebne niż „najmizerniejsza z planet”.

*** Wartość jednej jednostki astronomicznej (au) jest równa średniej odległości Ziemia–Słońce.

**** Misja sondy zakończyła się 30 września 2016 roku (przyp. red.).

8

Pięć punktów Lagrange’a

Pierwszym załogowym statkiem kosmicznym, który opuścił orbitę ziemską, był Apollo 8. Osiągnięcie to należy do najbardziej niezwykłych wydarzeń dwudziestego wieku. Tuż po odpaleniu trzeciego, ostatniego stopnia potężnej rakiety Saturn V moduł dowodzenia z trójką astronautów na pokładzie zaczął gwałtownie przyspieszać, aż osiągnął prędkość ponad dziesięć kilometrów na sekundę. Połowa energii koniecznej, aby dolecieć do Księżyca, została wykorzystana na dotarcie zaledwie na orbitę okołoziemską.

Po odpaleniu trzeciego stopnia rakiety silniki były potrzebne tylko do ewentualnej korekty trajektorii jej lotu, by nie minęła się z Księżycem. Przez 90 procent liczącej niemal czterysta tysięcy kilometrów podróży moduł dowodzenia powoli zwalniał wskutek skierowanego przeciwnie do kierunku lotu (choć stopniowo malejącego) ziemskiego pola grawitacyjnego. Jednocześnie kiedy astronauci zbliżali się do Księżyca, wywierana przez niego siła przyciągania sukcesywnie się zwiększała. Musi zatem istnieć taki punkt na trajektorii, w którym działające w przeciwnych kierunkach siły grawitacyjne Księżyca i Ziemi dokładnie się równoważą.

Kiedy moduł dowodzenia Apollo go osiągnął, zaczął ponownie przyspieszać, tym razem w stronę Księżyca.

Gdyby wziąć pod uwagę wyłącznie grawitację, ów punkt w kosmosie byłby jedynym miejscem w układzie Ziemia–Księżyc, w którym te przeciwnie skierowane siły by się znosiły. Ziemia i Księżyc krążą jednak także wokół wspólnego środka masy. Znajduje się on około 1800 kilometrów pod powierzchnią Ziemi na linii łączącej środki tych dwóch obiektów. Kiedy ciało porusza się po zakrzywionym torze, to zawsze – przy dowolnej krzywiźnie toru i prędkości ciała – pojawia się dodatkowa siła, zwana „odśrodkową”, wypychająca je od środka na zewnątrz. Nasze ciało odczuwa ją na przykład wówczas, gdy bierzemy ostry zakręt samochodem lub kiedy korzystamy z obracających się atrakcji wesołego miasteczka. Podczas jednej z takich przyprawiających o wymioty zabaw stoi się plecami do ściany biegnącej wzdłuż krawędzi rozległej płaszczyzny w kształcie okrągłego talerza. Urządzenie zaczyna coraz szybciej się kręcić, a uczestnicy czują, jak z coraz większą siłą dociskani są do ściany. Przy pełnej prędkości działanie siły odśrodkowej jest tak ogromne, że niemal w ogóle nie można się ruszyć. Wtedy platforma usuwa się spod stóp, a całe urządzenie dodatkowo kiwa się na boki i wywraca do góry nogami. Z dzieciństwa pamiętam, że efekt był tak silny, że nie byłem w stanie nawet poruszyć palcami u rąk, bo podobnie jak reszta mojego ciała były one przyklejone do ściany.

Jeśli komuś zrobiłoby się niedobrze i zdążyłby odwrócić głowę w bok, to treść jego żołądka zostałaby wyrzucona po stycznej do ściany albo przykleiłaby się do niej. Gdyby jednak nie udało się mu na czas odwrócić głowy, siła odśrodkowa mogłaby nawet zatrzymać wymioty w ustach. (Co ciekawe, nie przypominam sobie, abym w ostatnim czasie gdziekolwiek widział tego typu atrakcje. Może ich zabroniono?)

Siła odśrodkowa wynika wyłącznie ze skłonności wprawionych w ruch obiektów do poruszania się po linii prostej, nie jest więc siłą rzeczywistą. Można ją jednak traktować w obliczeniach tak, jakby nią była. Wykorzystując to podejście, genialny matematyk francuski Joseph Louis Lagrange (1736–1813) odkrył punkty układu Ziemia–Księżyc, w których siły grawitacyjne Ziemi i Księżyca oraz działająca w obracającym się układzie siła odśrodkowa się równoważą. Jest ich pięć i nazywamy je punktami Lagrange'a lub punktami libracyjnymi.

Pierwszy z nich (czule zwany L1) znajduje się pomiędzy Ziemią i Księżycem, nieco bliżej Ziemi niż miejsce, w którym równoważą się same tylko siły grawitacyjne. Jakikolwiek obiekt umieszczony w punkcie L1 będzie obiegał środek masy Ziemi i Księżyca z takim samym miesięcznym okresem jak Księżyc, więc jego położenie na linii Ziemia–Księżyc nie będzie ulegało zmianie. Choć w pierwszym punkcie libracyjnym wszystkie siły się znoszą, jest on dość chwiejnym stanem równowagi. Jeśli znajdujący się tam obiekt podryfuje lekko w bok, oddziaływanie wszystkich trzech sił jednocześnie przywróci go do poprzedniej pozycji. Natomiast jeśli nawet najmniejsze przesunięcie nastąpi w kierunku Ziemi lub Księżyca, obiekt ten nieodwołalnie spadnie na Ziemię lub na Księżyc, podobnie jak szklana kulka umieszczona na szczycie wysokiego wzniesienia może się w każdej chwili stoczyć po zboczu w jedną lub drugą stronę.

Drugi i trzeci punkt libracyjny (L2 i L3) również leżą na linii Ziemia–Księżyc, ale L2 znajduje się dość daleko za Księżycem, a L3 – po przeciwnej jego stronie, za Ziemią. W nich również wszystkie trzy siły – przyciąganie grawitacyjne Ziemi, przyciąganie grawitacyjne Księżyca oraz siła odśrodkowa w wirującym układzie – idealnie się znoszą. Dla obiektów umieszczonych w punktach L2 i L3 miesięczny okres obiegu środka masy układu Ziemia–Księżyc również jest taki sam jak Księżyca.

Odwołując się do analogii ze szklaną kulką, punkty libracyjne można porównać do wysokich grawitacyjnych wzgórz, przy czym w punktach L2 i L3 ich szczyty są znacznie mniej strome niż w punkcie L1; jeśli zatem znajdujący się w nich obiekt zacznie opadać w stronę Ziemi lub Księżyca, będzie on w stanie wrócić w poprzednie miejsce, wykorzystując niewielką ilość paliwa.

Punkty L1, L2 i L3 to całkiem przyzwoite miejsca w kosmosie, ale tytuł najlepszych punktów libracyjnych z pewnością należy się L4 i L5. Pierwszy z nich znajduje się po lewej stronie linii łączącej Ziemię i Księżyc, drugi po prawej, i oba są od niej dość oddalone. Stanowią one wierzchołki dwóch trójkątów równobocznych, których pozostałymi wierzchołkami są środki Ziemi i Księżyca.

W punktach L4 i L5 – podobnie jak we wcześniej omawianych – równoważą się wszystkie trzy siły. Ale w przeciwieństwie do innych punktów libracyjnych, L4 i L5 wykazują się stabilnością – bez względu na to, w którym kierunku znajdujący się w nich obiekt odchyli się lub przesunie, działające na niego siły nie pozwolą mu się zbytnio oddalić; zachowa się tak, jakby znajdował się na otoczonym wzniesieniami dnie kotliny.

Jeśli pozycja obiektu położonego w otoczeniu tych punktów Lagrange’a nie pokrywa się dokładnie z miejscem, w którym wszystkie siły się równoważą, obiekt ów będzie oscylował wokół punktu równowagi, poruszając się po trajektoriach libracyjnych (nie należy ich mylić z czysto ziemską sytuacją: punktami libacji i oscylacyjnym ruchem wokół nich). Są one odpowiednikiem ruchu tam i z powrotem piłki, która stoczywszy się w dół wzniesienia, zaczyna się przemieszczać w górę stoku po przeciwnej stronie.

Punkty L4 i L5 są nie tylko orbitalnymi ciekawostkami, stanowią też dogodne lokalizacje pod budowę stacji kosmicznych. Przetransportowane tam materiały budowlane (niekoniecznie pozyskiwane wyłącznie z Ziemi, ale także z Księżyca czy asteroid), można bezpiecznie pozostawić, nie ryzykując, że się oddalą, i wrócić po jakimś czasie z kolejnym ładunkiem. Posiadając wystarczającą ilość surowców, w miejscu o zerowej grawitacji można ze względu na bardzo niewielkie grawitacyjne obciążenia konstrukcji zbudować ogromną stację rozciągającą się na dziesiątki kilometrów. Gdyby taką stację wprawić w ruch obrotowy, to dzięki towarzyszącej mu sile odśrodkowej można by symulować przyciąganie ziemskie dla setek (lub tysięcy) jej potencjalnych mieszkańców. Zbudowanie stacji kosmicznej w tym miejscu było głównym celem stowarzyszenia L5, powołanego w sierpniu 1975 roku przez Keitha i Carolyn Hensonów – entuzjastów kolonizacji kosmosu. Samo stowarzyszenie kojarzy się jednak najsilniej z popularyzacją idei kolonizacji kosmosu Gerarda K. O'Neilla, profesora z Princeton, wizjonera i autora między innymi klasycznej już książki *The High Frontier: Human Colonies in Space* z 1976 roku. Główną aspiracją stowarzyszenia L5 było „samorozwiązanie podczas wspólnego spotkania w L5", zapewne wewnątrz gotowej do zamieszkania stacji kosmicznej, równoznaczne z ogłoszeniem „zakończenia misji". W kwietniu 1987 roku stowarzyszenie połączyło się z National Space Institute, gdzie kontynuuje swoją działalność jako National Space Society.

Pomysł na umieszczenie wielkogabarytowej konstrukcji w punktach libracyjnych pojawił się jednak już wcześniej w powieści *A Fall of Moondust* Arthura C. Clarke'a z 1961 roku. Jej autor był dobrze obeznany z zagadnieniem wyjątkowych orbit. W 1945 roku jako pierwszy obliczył, na jakiej wysokości nad Ziemią należy umieścić satelitę, by jego okres obiegu

był zgodny z dwudziestoczterogodzinnym obrotem naszej planety wokół własnej osi (rachunek ten zawarł w czterostronicowym, napisanym na maszynie studium). Poruszający się po takiej orbicie satelita zdaje się unosić nad jednym punktem powierzchni Ziemi i stanowi doskonałą stację przekaźnikową międzynarodowej komunikacji radiowej. Dziś setki satelitów wykonują właśnie to zadanie.

Gdzie znajduje się to magiczne miejsce? Nie może nim być niska orbita okołoziemska, gdyż umieszczone na niej obiekty, na przykład Kosmiczny Teleskop Hubble'a i Międzynarodowa Stacja Kosmiczna, okrążają Ziemię w mniej więcej dziewięćdziesiąt minut, zaś obiektom znajdującym się w takiej odległości od Ziemi jak Księżyc zajmuje to około miesiąca. Miejsce pośrednie, któremu odpowiada dwudziestoczterogodzinny okres obiegu, jest oddalone od powierzchni Ziemi o około 35 800 kilometrów.

*

Jeśli zaś chodzi o układ Ziemia–Księżyc – nie ma w nim nic wyjątkowego. Zestaw pięciu punktów libracyjnych istnieje też w układzie Słońce–Ziemia, a satelity astrofizyczne szczególnie upodobały sobie spośród nich punkt L2. Okres, w którym punkty libracyjne układu Słońce–Ziemia okrążają środek masy tych obiektów, wynosi rok. Teleskop umieszczony w punkcie L2, czyli w odległości około półtora miliona kilometrów od Ziemi po przeciwnej stronie niż Słońce, dysponuje dobowo dwudziestoma czterema godzinami niezakłóconej obserwacji całego nocnego nieba, bo Ziemia z jego perspektywy kurczy się do obiektu o zaniedbywalnych rozmiarach. Odwrotnie jest na niskiej orbicie okołoziemskiej – Ziemia jest wtedy na tyle blisko i wydaje się tak duża, iż przesłania niemal połowę pola widzenia umieszczonego tam teleskopu Hubble'a. Sonda Wilkinson Microwave

Anisotropy Probe (nazwana na cześć swojego współtwórcy, nieżyjącego już fizyka Uniwersytetu Princeton Davida Wilkinsona) dotarła do punktu L2 układu Słońce–Ziemia w 2002 roku i od tego czasu skrzętnie zbiera dane na temat promieniowania reliktowego – wszechobecnej pozostałości po Wielkim Wybuchu. „Wzgórze" punktu L2 dla układu Słońce–Ziemia jest jeszcze bardziej rozległe i płaskie niż jego odpowiednik dla układu Ziemia–Księżyc, więc mimo iż sonda dotarła na miejsce, zachowując zaledwie 10 procent całkowitych zasobów paliwa, będzie mogła pozostać w tym punkcie niestabilnej równowagi przez prawie sto lat. Zostanie tam też wysłany Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba (nosi imię dyrektora NASA w latach sześćdziesiątych), który ma zastąpić teleskop Hubble'a. Kiedy dotrze do celu i rozpocznie swój dyżur, w punkcie L2 i tak pozostanie jeszcze mnóstwo miejsca na przyjęcie innych satelitów – dziesiątki tysięcy kilometrów kwadratowych.

Kolejną miłośniczką punktów Lagrange'a była sonda NASA – Genesis, która orbitowała wokół punktu L1 leżącego w odległości półtora miliona kilometrów od Ziemi w stronę Słońca. Genesis przez dwa i pół roku była zwrócona do Słońca i gromadziła próbki strumienia materii słonecznej, w tym atomy i cząsteczki pochodzące z wiatru słonecznego. Sonda wyposażona w kapsułę z próbkami po opuszczeniu punktu L1 wykonała pętlę wokół L2, po czym ustawiła parametry swojego lotu w kierunku Ziemi. Zebrany materiał miał być następnie przechwycony w locie nad stanem Utah* i zbadany pod względem składu chemicznego, podobnie jak wcześniejsze próbki pyłu kometarnego, przekazane przez sondę Stardust. Dzięki próbkom pobranym przez Genesis mieliśmy poznać skład pierwotnej mgławicy słonecznej, z której powstały Słońce i planety.

Ponieważ L4 i L5 są punktami równowagi stabilnej, można by podejrzewać, że będzie się w nich zbierał kosmiczny złom, co czyniłoby

z tej przestrzeni dość ryzykowne miejsce prowadzenia interesów. Już Lagrange przewidział to, że w punktach L4 i L5 mocno związanego grawitacyjnie układu Słońce–Jowisz będą się gromadzić odpady kosmiczne. Sto lat później, w roku 1905, odkryto tam pierwszą grupę asteroid trojańskich. Dziś wiemy, że w punktach L4 i L5 układu Słońce–Jowisz tysiące asteroid krążą przed i za Jowiszem z takim samym jak on okresem obiegu. Choć zachowują się one, jakby były wiedzione wiązką holowniczą, w rzeczywistości oddziałuje na nie grawitacja i siła odśrodkowa układu Słońce–Jowisz. Oczywiście kosmiczny złom – jak można się tego spodziewać – zbiera się także w punktach L4 i L5 układów Słońce–Ziemia oraz Ziemia–Księżyc, jednak stopień jego nagromadzenia jest nieporównywalnie mniejszy niż w odpowiadających im punktach układu Słońce–Jowisz.

Istnienie punktów Lagrange’a wiąże się z dodatkową korzyścią – poruszanie się między nimi, a nawet docieranie z nich do innych planet wymaga bardzo niewielkiej ilości paliwa. W przeciwieństwie do wystrzeliwanych z powierzchni planet rakiet, których zasoby paliwa są w dużej mierze wykorzystywane na wyniesienie ich na orbitę, start statków kosmicznych z punktów libracyjnych wymaga minimalnej energii i przypomina łagodne wypływanie w morze. Niegdyś uważane za miejsca potencjalnej budowy samowystarczalnych kolonii, punkty Lagrange’a stają się dziś wrotami prowadzącymi do reszty Układu Słonecznego. Dotarcie do punktów libracyjnych układu Słońce–Ziemia oznacza pokonanie połowy drogi na Marsa – nie pod względem odległości lub czasu, ale biorąc pod uwagę zużycie paliwa.

Planując podbój kosmosu, możemy sobie wyobrazić stacje paliwowe w każdym z punktów Lagrange’a Układu Słonecznego; podróżujący będą się tam zatrzymywać, by napełnić baki swoich rakiet w drodze do

znajomych lub rodziny z innych planet. Taki sposób podróżowania, choć może wydawać się dość odległy, jest w rzeczywistości całkiem prawdopodobny. Bez gęsto rozsianych stacji paliw do przejechania z jednego krańca Stanów Zjednoczonych na drugi potrzebowalibyśmy samochodu o proporcjach rakiety Saturn V. Większą część pojazdu zajmowałby wówczas zbiornik paliwa, służący głównie do transportu jego pozostałej ilości, potrzebnej na późniejszych etapach dalekiej drogi. Na Ziemi nie podróżujemy w ten sposób. Może więc już najwyższy czas, by zmienić nasze podejście do podróży kosmicznych.

---

* Niestety, przechwycenie w powietrzu kapsuły z próbkami nie powiodło się, gdyż z powodu błędu konstrukcyjnego nie otworzyły się spadochrony hamujące. Kapsuła uderzyła w ziemię i znaczna część próbek została zniszczona (przyp. red.).

9

W materii antymaterii

Fizyka cząstek jest moim zdaniem dziedziną o najzabawniejszym żargonie naukowym. Gdzież indziej neutralny bozon o jednostkowym spinie może być wymieniany podczas przemiany ujemnego mionu w neutrino mionowe? A co powiecie na gluon, przenoszący oddziaływania pomiędzy kwarkiem dziwnym i powabnym? Obok tych, wydawać by się mogło, niezliczonych cząstek o dziwacznych nazwach istnieje cały zestaw antycząstek, znanych pod wspólną nazwą antymaterii. Choć termin ten pojawia się bardzo często w literaturze popularnonaukowej, antymateria zdecydowanie nie jest wytworem wyobraźni. Tak, również i to jest prawdą: ulega anihilacji w kontakcie ze zwykłą materią.

W kosmosie kwitnie osobliwy romans pomiędzy cząstkami i antycząstkami. Mogą bowiem powstawać parami z czystej energii i parami umierać (anihilować), a ich sumaryczna masa ulega wówczas przemianie z powrotem w energię. W 1932 roku amerykański fizyk Carl David Anderson odkrył antyelektron – dodatnio naładowaną cząstkę antymaterii, będącą odpowiednikiem ujemnie naładowanego elektronu. Wkrótce w akceleratorach na całym świecie zaczęto produkować różnego rodzaju antycząstki, ale dopiero stosunkowo niedawno udało się połączyć je

w atomy. Międzynarodowa grupa naukowców pod przewodnictwem Waltera Oelerta z Instytutu Badań Fizyki Jądrowej w Jülich w Niemczech doprowadziła do połączenia antyelektronu z antyprotonem. W ten sposób w akceleratorze cząstek Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (znanej lepiej pod francuskim skrótem CERN) z siedzibą w Genewie, którego wkład w rozwój współczesnej fizyki jądrowej jest ogromny, powstał antywodór.

Metoda uzyskiwania antyatomów jest prosta – wytwarza się grupy antyelektronów i antyprotonów i łączy się je w odpowiednich warunkach temperatury i gęstości z nadzieją, że zwiążą się, tworząc atomy. Na wstępnym etapie eksperymentu zespół Oelerta uzyskał dziewięć atomów antywodoru. Jednak życie antyatomu w świecie zdominowanym przez cząstki zwykłej materii nie należy do łatwych. Pierwsze atomy antywodoru przetrwały mniej niż czterdzieści nanosekund (czterdzieści miliardowych sekundy), po czym uległy anihilacji w zetknięciu ze zwykłymi atomami.

Odkrycie antyelektronu było jednym z wielkich sukcesów fizyki teoretycznej. Jego istnienie przewidział zaledwie kilka lat wcześniej urodzony w Wielkiej Brytanii fizyk Paul A.M. Dirac. Zauważył on, że równanie opisujące elektron i pozwalające wyliczyć jego energię może mieć dwa rozwiązania – dodatnie i ujemne. Pierwsze z nich odpowiadało zwykłemu elektronowi, ale drugie początkowo nie poddawało się interpretacjom, gdyż nie można go było odnieść do rzeczywistości.

Równania z dwoma możliwymi rozwiązaniami są dość powszechne. Jednym z prostszych przykładów jest próba odpowiedzi na pytanie: „Która liczba pomnożona przez samą siebie daje dziewięć? Trzy czy może minus trzy?”. Oczywiście i jedna, i druga, ponieważ zarówno $3 \times 3 = 9$, jak i $(-3) \times (-3) = 9$. Rozwiązania równań niekoniecznie muszą odpowiadać rzeczywistości, ale jeśli matematyczny model jakiegoś zjawiska jest

poprawny, to manipulowanie równaniami może okazać się tak samo przydatne jak manipulowanie całym kosmosem, a przy tym jest dużo łatwiejsze. Często prowadzi to do dających się zweryfikować przypuszczeń, tak jak to było w wypadku Diraca i antymaterii. Jeśli przypuszczenia się nie potwierdzą, daną teorię trzeba odrzucić. Jednak bez względu na rezultat posługiwanie się modelem matematycznym gwarantuje logiczność i spójność wyciąganych wniosków.

*

Mechanika kwantowa, znana również jako fizyka kwantowa, powstała w latach dwudziestych ubiegłego wieku i zajmuje się opisem materii na poziomie cząstek atomowych i subatomowych. Posługując się dopiero co sformułowanymi zasadami mechaniki kwantowej, Dirac stwierdził, iż od czasu do czasu elektronom z „tej drugiej strony” udaje się przedostać do „naszego” świata zwykłych elektronów. W morzu ujemnej energii pozostawiają one wtedy po sobie dziurę, która według Diraca miała przybierać postać dodatnio naładowanego antyelektronu, czyli inaczej pozytonu.

Można zmierzyć wiele parametrów cząstek subatomowych. Jeśli wartość któregoś z nich może być ujemna bądź dodatnia, to cząstka i antycząstka będą posiadać przeciwne wartości tego parametru, ale pod każdym innym względem będą identyczne. Dobrym tego przykładem jest ładunek elektryczny – pozyton i elektron różnią się wyłącznie tym, że pozyton jest naładowany dodatnio, a elektron – ujemnie. Podobnie jest w wypadku antyprotonu, który jest ujemnie naładowaną antycząstką protonu.

Choć trudno w to uwierzyć, elektrycznie obojętny neutron również posiada swoją antycząstkę. Jak można się domyślić, jest to antyneutron. Antyneutron ma przeciwny do ładunku neutronu ładunek zerowy. Ta magiczna arytmetyka wynika ze szczególnej kombinacji ułamkowych ładunków trzech cząstek (kwarków) wchodzących w skład neutronu. Neutron jest zbudowany z kwarków o ładunkach -1/3, -1/3, +2/3, a antyneutron z kwarków o ładunkach 1/3, 1/3, -2/3. Choć po zsumowaniu każdego z zestawów otrzymujemy zero, to odpowiadające sobie cząstki tworzące je mają przeciwne ładunki.

Czasem może się wydawać, że antymateria pojawia się dosłownie znikąd. Para promieni gamma o wystarczająco wysokiej energii może w wyniku wzajemnego oddziaływania spontanicznie przeobrazić się w parę elektron-pozyton. Ogromna ilość energii zostaje wtedy przekształcona w odrobinę materii, co opisuje słynne równanie Alberta Einsteina z 1905 roku:

$$\mathbf{E = mc^2}$$

Po przełożeniu na bardziej zrozumiały język wygląda ono następująco:

$$\mathbf{Energia = masa \times (prędkość\ światła)^2}$$

Zapisując je jeszcze bardziej zrozumiale, otrzymamy:

Energia = (masa) × (bardzo duża liczba)

Stosując oryginalną terminologię Diraca, powiedzielibyśmy, że promieniowanie gamma wypchnęło elektron z morza o ujemnej energii, w rezultacie czego utworzył się zwykły elektron i dziura elektronowa. Możliwa jest też sytuacja odwrotna – zderzenie cząstki z antycząstką skutkuje ich anihilacją poprzez wypełnienie dziury po elektronie oraz emisję promieniowania gamma. Promieniowania gamma raczej powinno się unikać. Jeśli nie wierzycie, to przypomnijcie sobie, dlaczego komiksowy superbohater Hulk stał się wielki, zielony i brzydki.

Gdyby kiedykolwiek w warunkach domowych udało się wyprodukować trochę antymaterii, natychmiast pojawiłby się problem, gdzie ją przechować, gdyż antycząstki umieszczone w jakiejkolwiek tradycyjnej torbie (nieważne, czy papierowej, czy plastikowej) nie uniknęłyby anihilacji. Dużo sprytniejszym sposobem przechowywania naładowanych antycząstek jest uwięzienie ich w silnym polu magnetycznym, które działa jak magnetyczne odpychające ściany. Jeśli pole to znajduje się dodatkowo w komorze próżniowej, wówczas antycząstki nie są narażone na anihilację ze zwykłą materią. Ten magnetyczny odpowiednik butelki nadaje się również do przechowywania innych substancji zdolnych zniszczyć zwykły pojemnik. Są nimi na przykład promieniujące gazy o temperaturze stu milionów stopni, w których zachodzą (kontrolowane) reakcje fuzji jądrowej. Prawdziwym problemem jest jednak magazynowanie kompletnych (a więc elektrycznie obojętnych) antyatomów, ponieważ nie poddają się one łatwo odpychającemu działaniu magnetycznych ścian.

Najlepiej więc przechowywać pozytony i antyprotony osobno do czasu, kiedy ich połączenie okaże się absolutnie konieczne.

*

Wyprodukowanie antymaterii wymaga przynajmniej tyle samo energii, ile odzyskuje się jej w wyniku anihilacji. Statki kosmiczne z silnikami napędzanymi anihilacją musiałyby być od początku wyposażone w pełne zbiorniki paliwa, w przeciwnym wypadku układ generujący antymaterię stopniowo zużyłby całą energię. Nie wiem, czy producenci serialu i filmów spod znaku *Star Trek* o tym wiedzieli, ale pamiętam, że zawsze, gdy kapitan Kirk prosił o „więcej mocy" z reaktorów anihilacyjnych, Scotty odpowiadał, że „silniki tego nie wytrzymają".

Dotychczas nie sprawdzono, czy antywodór posiada takie same własności jak zwykły wodór, choć w zasadzie nie ma podstaw sądzić, żeby było inaczej*. Wśród zagadnień, które należałoby zbadać, dwa są dość oczywiste. Po pierwsze, trzeba się uważnie przyjrzeć, czy pozyton związany w układzie z antyprotonem zachowuje wszystkie prawa mechaniki kwantowej. Po drugie, należy zmierzyć wartość siły grawitacji antyatomu i odpowiedzieć na pytanie, czy nie mamy przypadkiem do czynienia z antygrawitacją. Między cząstkami w skali atomowej dominują oddziaływania atomowe i jądrowe, a siła grawitacji jest tak mała, że praktycznie niemierzalna. Żeby przezwyciężyć to ograniczenie, z wielu antyatomów należałoby stworzyć większe obiekty na wzór tych ze zwykłej materii, a następnie porównać ich makroskopowe własności. Czy moglibyśmy odróżnić grę w antybilard, z zestawem kul, stołem i kijami wykonanymi z antymaterii, od zwykłej gry w bilard? Czy antybila i bila spadłyby na Ziemię z taką samą prędkością? Czy antyplanety krążyłyby

wokół antygwiazd w taki sam sposób, jak znane nam planety obiegają gwiazdy?

Przyjmując czysto filozoficzny punkt widzenia, jestem przekonany, że ogólne własności antymaterii – siły oddziaływania grawitacyjnego, zderzenia cząstek, emisja światła i tendencja do kantowania w bilardzie – okażą się takie same jak w zwykłej materii. Niestety oznaczałoby to także, że jeśli jakaś antygalaktyka znajdzie się na kursie kolizyjnym z Drogą Mleczną, to nie będziemy jej w stanie odróżnić od zwykłej galaktyki, zanim będzie za późno, by cokolwiek zrobić. Ten mrożący krew w żyłach scenariusz raczej nie realizuje się w kosmosie zbyt często, bo gdyby, dajmy na to, anihilacji uległa pojedyncza antygwiazda w zetknięciu z jedną ze zwykłych gwiazd, to cała ich materia natychmiast uległaby zamianie na promieniowanie gamma. Podczas takiego zderzenia dwie gwiazdy o masach podobnych do masy Słońca (czyli składające się z około 10^{57} cząstek) stałyby się jaśniejsze niż wszystkie gwiazdy setek milionów galaktyk razem wzięte. Nie ma żadnych przekonujących dowodów na to, że takie zdarzenie kiedykolwiek miało miejsce. Obecny stan wiedzy pozwala zatem zakładać, że we wszechświecie dominuje zwykła materia. Podczas naszej następnej podróży międzygalaktycznej nie musimy się więc obawiać anihilacji.

Niemniej jednak kosmos pozostaje miejscem niepokojącej dysproporcji – każdej wytworzonej antycząstce odpowiada cząstka, ale cząstki doskonale radzą sobie bez swych odpowiedników z antymaterii. Czy gdzieś we wszechświecie znajdują się ukryte zasoby antymaterii równoważące ten stan rzeczy? Może kiedy kosmos dopiero się tworzył, zostało złamane jakieś prawo fizyki (albo działała jakaś inna, wciąż nieodkryta zasada), dzięki czemu materia na zawsze uzyskała przewagę nad antymaterią. Nie wiadomo, czy kiedykolwiek poznamy odpowiedzi na te

pytania, ale póki co pamiętajmy, że jeśli na trawniku przed naszym domem wyląduje kiedyś kosmita i chcąc się przywitać, wyciągnie ku nam jedną ze swych wypustek, to należy najpierw rzucić mu bilę. Jeśli kosmita ją złapie i wypustka wybuchnie, to znaczy, że był on zbudowany z antymaterii. Jeśli tak się nie stanie, można go przedstawić władzom.

---

* W eksperymencie ALPHA z 2016 roku zmierzono energię przejścia pozytonu w antywodorze między jego dwoma najniższymi poziomami. Wyniki okazały się identyczne jak dla wodoru (przyp. red.).

10

Bądźmy stali na serio

Słowo „stałość” zwykle kojarzy się z wiernością małżeńską lub stabilnością finansową. Często można też usłyszeć, że jedyną stałą rzeczą w życiu jest zmiana. We wszechświecie „stałymi” określa się niezmienne wielkości, które nieustannie pojawiają się zarówno w naturze, jak i w matematyce. Ich dokładne wartości mają pierwszorzędne znaczenie dla nauki. Niektóre stałe mają charakter fizyczny i opierają się na pomiarach, inne natomiast – choć odkrywają przed nami zasady funkcjonowania wszechświata – są czysto liczbowe i wywodzą się z matematyki.

Część stałych jest lokalna i stosuje się je w konkretnym kontekście, do konkretnego obiektu lub podgrupy obiektów; inne zaś mają fundamentalne i uniwersalne znaczenie – dotyczą przestrzeni, czasu, materii i energii wszędzie, dzięki czemu naukowcy mogą zgłębiać przeszłość i teraźniejszość oraz przewidywać przyszłość wszechświata. Istnieje tylko kilka fundamentalnych stałych, z których trzy najistotniejsze to prędkość światła w próżni, stała grawitacji Newtona oraz stała Plancka, która legła u podstaw fizyki kwantowej i wpłynęła na sformułowanie przez Heisenberga obrazoburczej zasady nieoznaczoności. Inne uniwersalne stałe

to na przykład ładunek i masa każdej z podstawowych cząstek subatomowych.

Kiedy zauważamy w kosmosie powtarzający się schemat przyczynowo-skutkowy, to z dużym prawdopodobieństwem w grę wchodzi jakaś stała. Jednak aby sprawdzić, czy badane zjawiska wynikają jedne z drugich, musimy najpierw określić, co jest, a co nie jest zmienne, oraz upewnić się, że nie mylimy zwykłej korelacji z prawdziwą zależnością. W latach dziewięćdziesiątych w Niemczech wzrosła populacja bocianów. W tym samym czasie odnotowano tam również wzrost porodów domowych. Czy to dlatego, że bociany przynoszą dzieci? Chyba jednak nie.

Kiedy uda się nam ustalić, że jakaś stała bez wątpienia istnieje, i poznamy jej wartość, wówczas możemy na tej podstawie spekulować na temat miejsc, obiektów i zjawisk jeszcze nieodkrytych lub zupełnie nieznanych.

*

Johannes Kepler, niemiecki matematyk i – okazjonalnie – mistyk, dokonał odkrycia pierwszej niezmiennej wielkości fizycznej. W roku 1618, po dekadzie zaangażowania w mistyczne bzdury, Kepler zorientował się, że czas obiegu planety wokół Słońca podniesiony do kwadratu jest zawsze proporcjonalny do sześcianu jej średniej odległości od Słońca. Okazuje się, że ta zasada sprawdza się nie tylko w odniesieniu do każdej z planet Układu Słonecznego, ale także w stosunku do każdej gwiazdy krążącej wokół centrum galaktyki oraz każdej galaktyki obiegającej centrum gromady galaktyk. Choć wówczas Kepler nie zdawał sobie z tego sprawy, w jego obliczeniach czaiła się już stała grawitacji, którą Newton odkrył dopiero siedemdziesiąt lat później.

Pierwszą stałą, o której usłyszeliście jeszcze w szkole, była zapewne liczba pi – wielkość matematyczna, która od początku osiemnastego wieku oznaczana jest greckim symbolem π. Pi jest stosunkiem obwodu koła do długości jego średnicy. Innymi słowy, jeśli chcemy obliczyć obwód koła, znając jego średnicę, to musimy ją pomnożyć przez pi. Liczba pi pojawia się też w wielu mniej lub bardziej spodziewanych miejscach, na przykład przy obliczaniu powierzchni kół i elips, objętości pewnych brył, przy opisie ruchu wahadła, drgań struny, a także przy analizie obwodów elektrycznych. Pi nie jest liczbą całkowitą, lecz nieskończonym ciągiem cyfr po przecinku, które nie układają się w żaden wzór. Jeśli chcielibyśmy podać jej przybliżenie tak, by było zapisane przy wykorzystaniu wszystkich cyfr arabskich, wyglądałoby ono następująco: 3,14159265358979323846264338327950. Wartość liczby π zawsze była, jest i będzie taka sama, bez względu na to, w jakich czasach dokonuje się jej obliczeń, jakiej narodowości i w jakim wieku jest osoba, która to robi; nie mają na nią również wpływu wrażliwość estetyczna, religia czy poglądy polityczne. Stałe takie jak pi cieszą się międzynarodowym statusem, którego ludzkie sprawy nigdy nie posiadały, nie posiadają i nie będą posiadać. Dlatego jeśli kiedykolwiek przyjdzie nam porozumiewać się z kosmitami, pewnie będziemy używać języka matematyki – *lingua franca* całego wszechświata.

Pi jest tak zwaną liczbą niewymierną, nie da się bowiem przedstawić jej dokładnej wartości w postaci stosunku dwóch liczb całkowitych, takiego jak 2/3 lub 18/11. Jednak pierwsi matematycy, którzy nie zdawali sobie sprawy z istnienia liczb niewymiernych, zapisywali ją jako 25/8 (jak Babilończycy około 2000 roku przed naszą erą), czy 256/81 (jak Egipcjanie około 1650 roku przed naszą erą). Mniej więcej w 250 roku przed naszą erą grecki matematyk Archimedes podjął się czasochłonnych geometrycznych

obliczeń, których celem było wyznaczenie liczby pi. Choć nie udało mu się znaleźć jej dokładnej wartości, zdał sobie sprawę, że musi się ona mieścić między dwoma ułamkami: 223/71 oraz 22/7.

Kiepskie przybliżenie liczby pi – zważywszy na postęp, jaki się później dokonał – odnajdujemy także w Biblii w opisie budowy świątyni Salomona: „Następnie sporządził odlew morza o średnicy dziesięciu łokci, o wysokości pięciu łokci i o obwodzie trzydziestu łokci” (1Krl 7:23). Skoro średnica odlewu wynosiła dziesięć jednostek, a obwód trzydzieści, to oznacza, że wartość liczby pi musiałaby wynosić 3. Trzy tysiąclecia później – w 1897 roku – Niższa Izba Zgromadzenia Ustawodawczego Stanu Indiana przegłosowała ustawę określającą „stosunek długości średnicy do obwodu na pięć czwartych do czterech” – co odpowiada wartości liczby pi równej dokładnie 3,2.

Nie zważajmy jednak na opinie prawników, dla których dokładne wartości najwyraźniej stanowią wyzwanie. Najwięksi matematycy w historii, w tym Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi, Irakijczyk z IX wieku, od nazwiska którego pochodzi słowo „algorytm”, a nawet sam Newton, próbowali jak najdokładniej obliczyć liczbę pi. Wynalazek komputera sprawił oczywiście, że wcześniejsze przybliżenia stały się niewiele warte. Na początku XXI wieku liczba znanych cyfr po przecinku w liczbie pi przekroczyła jeden bilion, co nie ma żadnych praktycznych zastosowań z wyjątkiem próby odpowiedzi na pytanie, czy kolejność tych cyfr kiedykolwiek przestanie wyglądać na przypadkową.

*

Znacznie bardziej niż przybliżeniami liczby pi Newton przysłużył się nauce sformułowaniem trzech uniwersalnych zasad dynamiki oraz prawa

powszechnego ciążenia. Wszystkie zostały przedstawione w jego genialnym dziele *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Matematyczne zasady filozofii naturalnej, w skrócie *Principia*) opublikowanym w 1687 roku.

Wcześniej naukowcy (parający się tak zwaną mechaniką, która później przerodziła się w fizykę) opisywali zjawiska z nadzieją, że będą one powtarzalne. Wyposażeni w prawa Newtona mogli zacząć przedstawiać zależności pomiędzy siłami działającymi na dane ciało, jego masą i przyspieszeniem w różnych warunkach. Dzięki temu do nauki, a także do życia, wkroczyła przewidywalność.

W przeciwieństwie do pierwszej i trzeciej zasady dynamiki Newtona druga ma postać równania:

$$\mathbf{F = ma}$$

Mówi nam ono, że wypadkowa siła (F) działająca na ciało o określonej masie (m) wprawi je w ruch z przyspieszeniem (a). Innymi słowy, duża siła wywołuje duże przyspieszenie. Co więcej, związek ten jest ściśle określony – działanie z podwójną siłą skutkuje dwukrotnie większym przyspieszeniem. Masa obiektu jest stałą wartością tego równania, dzięki czemu można dokładnie obliczyć jego przyspieszenie na skutek działania danej siły.

A jeśli masa obiektu nie jest stała? Jest tak na przykład z rakietami kosmicznymi, które po starcie tracą masę w miarę zużywania paliwa. Żeby było śmieszniej, można też założyć, że masa obiektu może się zmieniać, mimo że nic do obiektu nie dodajemy ani nic od niego nie odejmujemy. Dokładnie tak to wygląda w szczególnej teorii względności Einsteina.

W newtonowskiej rzeczywistości każdy obiekt ma swoją masę, która zawsze pozostaje taka sama. We wszechświecie zgodnym z teorią Einsteina obiekty posiadają niezmienniczą masę spoczynkową (odpowiadającą masie z równań Newtona), do której dochodzi dodatkowa masa rosnąca wraz z ich prędkością. W relatywistycznym wszechświecie Einsteina w miarę wzrostu prędkości opór, jaki ciało stawia przyspieszaniu, rośnie, co w równaniu przekłada się na wzrost jego masy. Newton nie mógł wiedzieć o tych relatywistycznych efektach, ponieważ mają one znaczenie dopiero przy prędkościach porównywalnych z prędkością światła. Dla Einsteina oczywiste było natomiast, że w tym wypadku w grę wchodzi inna stała, jaką jest prędkość światła. Ale to temat tak obszerny, że wart jest osobnego felietonu.

*

Podobnie jak wiele innych praw fizycznych, zasady dynamiki Newtona są proste i przejrzyste. Natomiast prawo powszechnego ciążenia jest już nieco bardziej skomplikowane. Zakłada ono bowiem, że siła przyciągania dwóch obiektów, na przykład lecącej kuli armatniej i Ziemi, Księżyca i Ziemi, dwóch atomów lub dwóch galaktyk, zależy wyłącznie od ich masy i odległości pomiędzy nimi. Dokładniej rzecz biorąc, siła grawitacji jest wprost proporcjonalna do masy jednego ciała pomnożonej przez masę drugiego ciała i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości pomiędzy nimi. Te zależności pozwalają zgłębić pewien mechanizm działający w naturze – jeśli siłę przyciągania pomiędzy dwoma ciałami przy określonej odległości oznaczymy jako *F*, to przy odległości dwa razy większej maleje ona do jednej czwartej *F*, a przy trzy razy większej – do jednej dziewiątej *F*.

To jednak nie wystarczy, by obliczyć dokładną wartość działających w tym wypadku sił. Aby to uczynić, potrzebujemy jakiejś stałej, którą jest tutaj stała grawitacji *G* lub – dla wtajemniczonych – „duże *G*”.

Odkrycie zależności siły grawitacji od odległości i masy ciał było jednym z wielu genialnych spostrzeżeń Newtona, nie potrafił on jednak zmierzyć wartości *G*. Aby to zrobić, musiałby znać wszystkie inne wartości w równaniu, co pozwalałoby jednoznacznie wyznaczyć tę stałą. W czasach Newtona było to niestety niemożliwe. Z łatwością co prawda dało się zmierzyć masy dwóch kul armatnich i odległość między nimi, lecz działająca na nie wzajemna siła przyciągania okazywała się tak znikoma, że dostępne narzędzia pomiarowe nie były jej w stanie wykryć. Możliwe było zmierzenie siły grawitacji pomiędzy Ziemią i kulą armatnią, ale nie istniała aparatura do pomiaru masy Ziemi. Dopiero w 1798 roku, ponad sto lat po opublikowaniu *Principiów*, angielski chemik i fizyk Henry Cavendish wiarygodnie wyznaczył wartość stałej *G*.

Aby dokonać tego słynnego już dziś pomiaru, Cavendish skonstruował przyrząd, którego zasadniczym elementem był ciężarek z dwóch ołowianych kulek o średnicy dwóch cali. Do środka ciężarka przymocowany był cienki pionowy drucik, dzięki czemu ciężarek mógł się obracać w jedną lub drugą stronę. Całość Cavendish zamknął w szczelnej obudowie, na zewnątrz której po przekątnej umieścił dwie dwunastocalowe kule z ołowiu. Wskutek siły przyciągania zewnętrznych kul drut, na którym zawieszony był ciężarek, ulegał skręceniu. Pochodząca z eksperymentu Cavendisha wartość *G* ma dokładność czterech cyfr znaczących, poprzedzonych całym ciągiem zer po przecinku. Mierzona w metrach kwadratowych na kilogram i na sekundę do kwadratu wartość ta wynosiła 0,00000000006754.

Zaprojektowanie dobrego urządzenia do jej pomiaru nie było łatwym przedsięwzięciem. Siła grawitacji jest na tyle słaba, że nawet lekki podmuch wiatru w laboratorium podczas eksperymentu może zakłócić jej pomiar. Pod koniec dziewiętnastego wieku węgierski fizyk Loránd Eötvös za pomocą ulepszonego urządzenia tego samego typu co waga skręceń Cavendisha dokonał nieco dokładniejszych pomiarów stałej *G*. Niemniej jednak eksperyment ten jest tak trudny do przeprowadzenia, że nawet w dzisiejszych czasach wartość *G* udało się doprecyzować tylko o kilka dodatkowych cyfr po przecinku. Badania przeprowadzone niedawno przez Jensa H. Gundlacha i Stephena Merkowitza na University of Washington w Seattle, którzy powtórzyli eksperyment według własnego projektu, zakończyły się wynikiem 0,000000000066742. Aby uzmysłowić, jak niewielka to siła, autorzy eksperymentu podkreślili, że ich pomiar odpowiada ważeniu pojedynczej bakterii.

Znając stałą grawitacji *G*, można obliczyć różne inne wielkości, na przykład masę Ziemi, co było pierwotnym zamierzeniem Cavendisha. Na podstawie swoich doświadczeń Gundlach i Merkowitz określili jej wartość na około $5{,}9722 \times 10^{24}$ kg, co mniej więcej pokrywa się z innymi współczesnymi pomiarami.

*

Wiele stałych fizycznych odkrytych w ciągu ostatniego stulecia odnosi się do rzeczywistości, w której prym wiedzie prawdopodobieństwo, a nie precyzja. Dotyczą one bowiem sił działających na cząstki subatomowe. Najważniejszą z nich jest stała Plancka, oznaczana literą *h* i wprowadzona przez niemieckiego fizyka Maxa Plancka w 1900 roku. Okazała się ona później jedną z podstawowych wielkości mechaniki kwantowej, choć

Planck odkrył ją podczas prozaicznego badania zależności pomiędzy temperaturą obiektu i zakresem emitowanej przez niego energii.

Temperatura danego ciała jest bezpośrednią miarą średniej energii kinetycznej drgających w nim atomów lub molekuł. Oczywiście niektóre cząstki drgają szybciej, a inne wolniej. Wskutek ich aktywności emitowane jest światło o szerokim zakresie energii, odpowiadającym równie rozległemu zakresowi drgań emitujących je cząstek. Przy odpowiednio wysokiej temperaturze obiekt zaczyna wyraźnie świecić. W czasach Plancka jednym z największych wyzwań było dokonanie analizy całego widma emisyjnego, a szczególnie pasm o najwyższej energii.

Planck zauważył, że można je wyjaśnić jednym równaniem, jeśli założymy, że energia jest skwantowana, czyli składa się z najmniejszych możliwych i niepodzielnych już dalej porcji zwanych kwantami.

Od momentu kiedy Planck wprowadził stałą *h* do wzoru opisującego emisję promieniowania elektromagnetycznego, zaczęła się ona pojawiać niemal wszędzie, między innymi w kwantowym opisie i rozumieniu światła. Im większa jest częstotliwość światła, tym wyższa jest jego energia. Promieniowanie gamma, czyli to z pasma o najwyższych częstotliwościach, najbardziej zagraża życiu, natomiast fale radiowe – te o najniższych częstotliwościach – przenikają przez nasze ciała bezustannie, nie wyrządzając nam żadnej szkody. Promieniowanie o wyższych częstotliwościach jest niebezpieczne właśnie dlatego, że niesie większą energię. Jak dużą? Proporcjonalną do częstotliwości promieniowania, przy czym współczynnikiem proporcjonalności jest właśnie stała Plancka *h*. A jeśli uważacie, że wartość poznanego wcześniej współczynnika proporcjonalności – stałej grawitacji *G* – jest wyjątkowo niewielka, to ciekawe, co powiecie na najnowsze przybliżenie wartości stałej Plancka *h*

(podane w jednostce kilogram razy metr kwadratowy na sekundę): 0,000000000000000000000000000000066260693.

W naturze wartość ta pojawia się w dość zadziwiający i prowokacyjny sposób w tak zwanej zasadzie nieoznaczoności, sformułowanej w 1927 roku przez niemieckiego fizyka Wernera Heisenberga. Reguła ta wyraża nieunikniony kosmiczny kompromis i mówi, że nie da się jednocześnie zmierzyć z dowolnie wysoką dokładnością wartości różnych par podstawowych zmiennych, takich jak położenie i prędkość czy energia i czas. Innymi słowy, dokładniejsze określenie jednej wielkości w parze (na przykład położenia) skutkuje gorszym przybliżeniem powiązanej z nią drugiej zmiennej (w tym wypadku prędkości). Granicę precyzji wyników określa stała *h*. Te kompromisy nie mają większego znaczenia podczas pomiarów dokonywanych w życiu codziennym, ale w skali atomowej stała *h* pojawia się właściwie wszędzie.

*

Może zabrzmi to nieco kontrowersyjnie, a nawet przewrotnie, ale w ostatnich dziesięcioleciach naukowcy zaczęli poszukiwać dowodów na to, że stałe nie są wcale takie niezmienne. W 1938 roku angielski fizyk Paul A.M. Dirac zasugerował ni mniej, ni więcej, że wartość stałej Newtona *G* może się zmniejszać proporcjonalnie do wieku kosmosu. Dziś projekty dotyczące poszukiwania kapryśnych stałych wyrastają niemal jak grzyby po deszczu. Niektóre koncentrują się na ich zależności od czasu, inne badają wpływ zmian położenia, jeszcze inne sprawdzają, jak znane równania działają w nieprzebadanych dotąd obszarach. Prędzej czy później komuś uda się uzyskać jakieś wiarygodne wyniki. Miejcie więc uszy otwarte i czekajcie na wiadomości o niestałości stałych.

11

Ograniczenia prędkości

Prom kosmiczny i Superman należą do grupy tych nielicznych obiektów, które poruszają się szybciej niż wystrzelony pocisk. Nic jednak nie pobije prędkości światła w próżni. Absolutnie nic. Ale choć światło porusza się bardzo szybko, jego prędkość zdecydowanie nie jest nieskończona. Dzięki temu ograniczeniu astrofizycy wiedzą, że patrząc w kosmos, mogą zaglądać w przeszłość. A dysponując poprawnie oszacowaną wartością prędkości światła, możemy w miarę dokładnie określić wiek wszechświata.

Nie są to jednak wyłącznie kosmiczne idee. Jasne, kiedy naciskamy włącznik, nie musimy czekać, aż światło oświetli podłogę. Jeśli jednak podczas śniadania zapragniecie pomedytować nad czymś nowym, to pomyślcie, że patrząc na swoje dzieci po drugiej stronie stołu, widzicie je nie takimi, jakie są obecnie, ale jakimi były kiedyś, a dokładnie trzy nanosekundy wcześniej. Może nie jest to imponujący odstęp czasowy, ale gdyby przenieść wasze latorośle do pobliskiej Galaktyki Andromedy, to do chwili, w której zobaczylibyście, jak nabierają łyżką płatków śniadaniowych, zdążyłyby się już zestarzeć o ponad dwa miliony lat.

Pomijając miejsca po przecinku, prędkość światła w próżni wynosi 299 792 kilometry na sekundę. Zmierzenie jej z taką precyzją zajęło setki

lat i wymagało wiele trudu. Uczeni interesowali się jednak naturą światła na długo przed tym, zanim rozwinęły się odpowiednie narzędzia i metody naukowe. Zadawano sobie następujące pytania: czy światło to wytwór naszego postrzegania, czy też faktycznie emanuje z obiektów? Jest zbiorem cząstek czy falą? Porusza się czy po prostu pojawia się ni stąd, ni zowąd? A jeśli może pokonywać odległość, to jak dużą i jak szybko?

*

Już w połowie piątego wieku przed naszą erą grecki wizjoner, filozof, poeta i uczony Empedokles z Akragas zastanawiał się, czy światło rozchodzi się z prędkością, którą można zmierzyć. Aby jednak sprawdzić to doświadczalnie, świat musiał zaczekać na mistrza empirycznego podejścia do nauki – Galileusza.

Etapy swojego eksperymentu Galileusz opisuje w dziele *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (Dialogi o dwu nowych naukach) opublikowanym w 1638 roku. Polegał on na tym, że nocą dwoje ludzi stało w pewnym oddaleniu od siebie, ale w taki sposób, że mogli się nawzajem obserwować. W rękach trzymali latarnie, które można było zakrywać i odkrywać. Pierwszy z uczestników doświadczenia na krótko odsłaniał latarnię i zaraz potem ją zasłaniał. Druga osoba, dostrzegając błysk pierwszej latarni, powtarzała tę samą czynność w odpowiedzi. Po jednokrotnej próbie Galileusz zanotował:

> Nie byłem w stanie z całkowitą pewnością stwierdzić, czy pojawienie się światła drugiej latarni było natychmiastowe czy nie. Ale jeśli nie nastąpiło to niezwłocznie, to na pewno bardzo szybko – rzekłbym: momentalnie.

Choć rozumowanie Galileusza wydaje się rozsądne, jego problem polegał na tym, że stał zbyt blisko swojego asystenta, aby zmierzyć czas potrzebny

światłu na przebycie zadanej odległości, szczególnie jeśli wziąć pod uwagę precyzję ówczesnych zegarów.

Kilkadziesiąt lat później duński astronom Ole Rømer dzięki obserwacjom orbity Io, najbardziej wewnętrznego księżyca Jowisza, praktycznie położył kres tym spekulacjom. Od stycznia 1610 roku, kiedy Galileusz zauważył przez swój nowy teleskop cztery najjaśniejsze i największe satelity Jowisza, astronomowie śledzili ich orbitowanie wokół tej gigantycznej planety. Wieloletnie obserwacje dowiodły, że okrążenie Jowisza zajmuje Io średnio 42,5 godziny (pomiar rozpoczynano w chwili, gdy księżyc znikał za Jowiszem, następnie oczekiwano, aż znów się pojawi, i kończono, kiedy satelita ponownie chował się za planetą). Rømer zauważył, że kiedy Ziemia znajdowała się najbliżej Jowisza, księżyc Io krył się za nim o 11 minut wcześniej, niż się spodziewano. Natomiast kiedy była od niego najdalej, zniknięcie Io następowało o 11 minut później.

Rømer twierdził, że takie zjawisko nie mogło wynikać z położenia Ziemi względem Jowisza. Za te niespodziewane zmiany musiała być zatem odpowiedzialna prędkość światła. Te dwadzieścia dwie minuty są zatem czasem, którego potrzebuje światło, by pokonać drogę równą średnicy orbity ziemskiej. Wychodząc z tego założenia, Rømer oszacował prędkość światła na około 220 000 kilometrów na sekundę. To pierwsze oszacowanie prędkości światła odbiega od prawidłowej wartości o około 30 procent, ale było zdecydowanie bardziej precyzyjne niż przybliżenie Galileusza, który światło opisywał jako „bardzo szybkie”.

James Bradley, trzeci w historii brytyjski astronom królewski, ostatecznie rozwiał niemal wszystkie wątpliwości co do tego, że prędkość światła ma skończoną wartość. W 1725 roku systematycznie obserwując gwiazdę Eltanin w gwiazdozbiorze Smoka, zauważył, że jej pozycja na niebie ulega zmianie w ciągu roku. Po upływie trzech kolejnych lat udało

mu się wyjaśnić to zjawisko jako wypadkowy efekt ruchu Ziemi po orbicie i skończonej prędkości światła. Dzięki temu Bradley odkrył zjawisko znane pod nazwą aberracji gwiezdnej.

Aby je zrozumieć, wyobraźmy sobie, że w deszczowy dzień stoimy w sporym samochodowym korku. Ponieważ nudzi się nam, za okno samochodu wystawiamy dużą probówkę (no jasne!), do której łapiemy spadające krople. Jeśli opadom nie towarzyszy wiatr, deszcz pada pionowo; aby zatem zgromadzić jak największą ilość deszczówki, probówkę również trzymamy w pionie. Krople deszczu wlatują do probówki przez jej otwór na górze i trafiają prosto na dno.

Kiedy korek wreszcie się rozładowuje i znów możemy rozpędzić samochód do maksymalnej dopuszczalnej prędkości, spadające dotąd pionowo krople deszczu zaczynają na bocznych szybach zostawiać ukośne ślady – to fakt dobrze znany z codziennego doświadczenia. Aby złapać ich jak najwięcej, musimy teraz przechylić probówkę zgodnie z kierunkiem śladów na szybie. Im szybciej porusza się samochód, tym większy musi być kąt nachylenia probówki.

W tym porównaniu poruszający się samochód odpowiada krążącej po orbicie Ziemi, probówka symbolizuje teleskop, a padający ze skończoną prędkością deszcz – światło. Kontynuując tę analogię, aby uchwycić światło danej gwiazdy, należy ustawić teleskop pod kątem, który niezupełnie odpowiada jej rzeczywistej pozycji na niebie. Obserwacje Bradleya mogą się wydawać nieco dziwaczne, ale dzięki nim jako pierwszy potwierdził (w wyniku bezpośrednich pomiarów, a nie przypuszczeń) dwie ważne astronomiczne koncepcje: skończoność prędkości światła i ruch Ziemi wokół Słońca. Udało mu się także poprawić szacunkową wartość prędkości światła do 301 000 kilometrów na sekundę.

*

Pod koniec XIX wieku fizycy już w pełni zdawali sobie sprawę z tego, że światło – podobnie jak dźwięk – rozchodzi się w postaci fal; zakładali więc, że skoro fale dźwiękowe potrzebują ośrodka, w którym mogą drgać (na przykład powietrza), to fale świetlne również wymagają analogicznego medium. W jaki bowiem inny sposób fala mogłaby rozchodzić się w próżni? Ośrodek rozprzestrzeniania się światła nazwano eterem, a zadania jego wykrycia podjęli się fizyk Albert A. Michelson i chemik Edward W. Morley.

Michelson wcześniej wynalazł urządzenie zwane interferometrem. W jednej z jego wersji światło zostaje rozdzielone na dwie prostopadłe wiązki. Każda z nich odbija się od lustra, a następnie wracają one na płytkę półprzepuszczalną, na której ponownie się łączą w jedną wiązkę, którą poddaje się analizie. Dokładność pomiarów dokonywanych za pomocą interferometru pozwalała z wyjątkową precyzją zmierzyć potencjalną różnicę prędkości pomiędzy dwiema wiązkami światła, co predysponowało to urządzenie do wykrywania eteru. Michelson i Morley mieli nadzieję, że poprowadzenie jednej wiązki zgodnie z kierunkiem ruchu Ziemi, a drugiej w poprzek sprawi, że prędkość pierwszej z nich zsumuje się z prędkością Ziemi w eterze, a prędkość drugiej pozostanie niezmieniona.

Zespół M&M nie potwierdził tego przypuszczenia. Kierunek ruchu nie miał żadnego wpływu na prędkość jednej i drugiej wiązki światła: zawsze powracały na płytkę półprzepuszczalną dokładnie w tym samym czasie. Ruch Ziemi w eterze zupełnie nie miał wpływu na prędkość światła, co wprawiło badaczy w spore zakłopotanie. Skoro eter miał umożliwiać propagację światła, ale nie udało się go wykryć, to może w ogóle nie istniał? Okazało się, że światło nie potrzebuje ani medium, ani magii do

rozchodzenia się w próżni. W ten sposób, z prędkością bliską prędkości światła, koncepcja eteru zniknęła w otchłani skompromitowanych teorii naukowych.

Michelson dzięki swojej pomysłowości mógł natomiast podać kolejne, jeszcze dokładniejsze oszacowanie prędkości światła, która według niego wynosiła 299 940 kilometrów na sekundę.

*

W 1905 roku w badaniach nad naturą światła nastąpił nieoczekiwany zwrot. Einstein opublikował wówczas szczególną teorię względności, wskutek której wynik eksperymentu M&M’sów zyskał niesamowity wydźwięk. Einstein stwierdził bowiem, że prędkość światła w próżni jest wartością stałą bez względu na to, z jaką prędkością przemieszcza się emitujące je źródło i jak szybko porusza się osoba dokonująca pomiarów.

Załóżmy, że podróżujemy statkiem kosmicznym z prędkością równą połowie prędkości światła. Jeśli Einstein ma rację, to rzucany z przodu statku kosmicznego snop światła, bez względu na to, kto i skąd zechce go mierzyć, będzie się rozchodził z prędkością 299 792 kilometrów na sekundę. Ale to nie wszystko. Niezależnie od tego, czy światło będzie się rozchodzić z tyłu, z boku czy z góry pojazdu, wszyscy dokonujący pomiaru nadal otrzymają tę samą wartość.

Dziwne.

Zdrowy rozsądek podpowiada nam, że jeśli wystrzelimy kulę z przodu pędzącego pociągu w tym samym kierunku, w którym się on porusza, to prędkość kuli względem ziemi będzie prędkością wystrzelenia kuli z pociągu powiększoną o prędkość pociągu. Natomiast jeśli wystrzelimy kulę w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu pociągu, to jej prędkość

względem ziemi będzie prędkością wystrzelenia kuli pomniejszoną o prędkość pociągu. Według Einsteina te obserwacje są prawdziwe w przypadku kul, nie dotyczą jednak światła.

Oczywiście Einstein miał rację, a konsekwencje jego odkrycia były niezwykle istotne. To, że dla każdego, zawsze i wszędzie, snop światła padający z naszego wyimaginowanego statku kosmicznego ma tę samą prędkość, niesie rozmaite implikacje. Wraz z rosnącą prędkością pojazdu kosmicznego długość wszystkiego – nas samych, naszych narzędzi pomiarowych, a nawet samej rakiety – z perspektywy postronnych obserwatorów ulega skróceniu równolegle do kierunku ruchu. Jednocześnie nasz czas zwalnia dokładnie o tyle, że kiedy już wyciągniemy nasze skrócone urządzenie do pomiaru długości, okaże się, że uzyskany przez nas wynik będzie odpowiadać dobrze nam znanej stałej wartości prędkości światła. Zdecydowanie mamy tu więc do czynienia z kosmiczną konspiracją wyższego rzędu.

*

Dzięki usprawnionym metodom pomiaru wartość prędkości światła została szybko doprecyzowana o kolejne miejsca po przecinku. Fizycy tak się wyspecjalizowali w tej grze, że w końcu sami się z niej wycofali.

Jednostki prędkości są zawsze kombinacją jednostek długości i czasu i mogą przyjmować postać, na przykład, 50 mil na godzinę lub 800 metrów na sekundę. Kiedy Einstein zaczynał formułować teorię względności, definicja sekundy była niczego sobie, znacznie gorzej było z metrem. Od 1791 roku metr definiowano jako jedną dziesięciomilionową odległości od bieguna północnego do równika, liczoną wzdłuż południka przebiegającego przez Paryż. Ze względu na niepraktyczność tego rozwiązania w 1889 roku

przedefiniowano metr jako długość wzorcowego pręta wykonanego ze stopu platyny i irydu mierzoną w temperaturze topnienia lodu; sam wzorzec przechowywano w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag w Sèvres we Francji. Od 1960 roku, kiedy ponownie określono długość metra, wynosi ona 1 650 763,73 długości fali światła w próżni emitowanego przy przejściu między poziomami 2*p*10 a 5*d*5 atomu kryptonu 86. Po głębszym zastanowieniu jest to całkiem oczywiste.

Na pewnym etapie wszyscy zainteresowani zdali sobie sprawę, że prędkość światła można określić znacznie dokładniej niż długość metra i w 1983 roku Generalna Konferencja Miar przyjęła – nie zmierzyła, lecz przyjęła! – że prędkość światła wynosi tyle, co najdokładniejsza otrzymana w dotychczasowych pomiarach wartość, czyli 299 792 458 metrów na sekundę. Innymi słowy, metr zaczęto definiować, korzystając z prędkości światła: określono go jako 1/299 792 458 odległości pokonywanej przez światło w próżni w ciągu jednej sekundy. Ktokolwiek dokona w przyszłości dokładniejszych pomiarów prędkości światła niż te z 1983 roku, poprawi tak naprawdę dokładność określenia długości metra.

Nie musimy się tym jednak specjalnie martwić. Żadne zmiany wartości prędkości światła nie są na tyle znaczące, abyśmy musieli wymienić wszystkie szkolne linijki. Jeśli jesteś przeciętnym Europejczykiem płci męskiej, nadal będziesz mierzyć nieco poniżej metra i osiemdziesięciu centymetrów. A jeśli mieszkasz w Ameryce, twój SUV ciągle będzie przejeżdżał zbyt mało mil na galonie paliwa.

*

Choć prędkość światła może się wydawać astrofizyczną świętością, nie jest ona niezmienna. We wszystkich przezroczystych substancjach –

w powietrzu, wodzie, szkle, a w szczególności w diamentach – światło rozchodzi się wolniej niż w próżni.

W próżni jednak prędkość światła jest stała; żeby dana wielkość rzeczywiście taka była, musi ona pozostawać niezmienna bez względu na to, jak, kiedy, gdzie i dlaczego dokonuje się jej pomiaru. Strażnikom prędkości światła nic jednak nie umknie i w ostatnich kilku latach poszukiwali oni dowodów na to, że w ciągu 13,7 miliarda lat od Wielkiego Wybuchu jej wartość ulegała pewnym zmianom. Mierzyli oni w szczególności tak zwaną stałą struktury subtelnej, która jest kombinacją prędkości światła i kilku innych stałych fizycznych, w tym stałej Plancka, pi i ładunku elektronu.

Stała struktury subtelnej jest miarą nieznacznego przesunięcia poziomów energetycznych w atomach, co wpływa na widma gwiazd i galaktyk. Ponieważ kosmos jest gigantyczną machiną czasu, w której dzięki przypatrywaniu się odległym obiektom można zaglądać w przeszłość, każda zmiana wartości stałej struktury subtelnej w czasie powinna być widoczna podczas obserwacji. Fizycy mają poważne powody, by założyć, że to nie stała Plancka czy ładunek elektronu ulegają zmianom. Liczba pi oczywiście też nie zmienia swej wartości. Wielkością odpowiedzialną za ewentualną rozbieżność pomiarów może być zatem wyłącznie prędkość światła.

Jeden ze sposobów obliczania wieku wszechświata zakłada, że prędkość światła jest i zawsze była taka sama, więc jakiekolwiek jej zmiany gdziekolwiek w kosmosie mają istotne znaczenie. Na szczęście jak do tej pory, czyli do stycznia 2006 roku, nie zarejestrowano żadnych zmian stałej struktury subtelnej w czasie ani w przestrzeni.

12

Balistyczny balet

Niemal we wszystkich sportach z piłką prędzej lub później zdarza się moment, w którym szybuje ona w powietrzu. Czy to w baseballu, czy w krykiecie, golfie, hokeju na trawie, tenisie ziemnym, czy piłce wodnej, piłka najpierw zostaje rzucona, uderzona albo kopnięta, a potem krótko unosi się nad ziemią, zanim spadnie na nią z powrotem.

Na trajektorię lotu wszystkich tych piłek wpływa opór powietrza, ale bez względu na to, co wprawia je w ruch i gdzie lądują, zakreślaną przez nie krzywą opisuje prosty wzór zaproponowany przez Newtona w jego fundamentalnym dziele z 1687 roku o ruchu i grawitacji – *Principiach*. Kilka lat później Newton zawarł swoje odkrycia w napisanej po łacinie i przeznaczonej dla laików książce *De mundi systemate* (System świata). Znalazł się w niej między innymi opis tego, co dzieje się z kamieniami wyrzucanymi poziomo z coraz większą prędkością. Początek rozważań jest dość oczywisty: kamienie będą upadać na ziemię coraz dalej, aż wreszcie znikną za linią horyzontu. Newton następnie stwierdził, że jeśli rzucimy kamień z wystarczająco dużą prędkością, to może on okrążyć Ziemię, nigdy nie dotykając jej powierzchni, i powrócić w miejsce, z którego go wyrzuciliśmy, uderzając nas przy tym w tył głowy. A jeśli dokładnie

w momencie powrotu kamienia pochylimy się, ten będzie poruszał się dalej – wyłącznie pod wpływem grawitacji – po torze powszechnie nazywanym orbitą. Co za odleciany pomysł!

Prędkość, jaką trzeba nadać ciału, by to zaczęło się poruszać po niskiej orbicie okołoziemskiej (zwanej pieszczotliwie LEO, czyli lew, od *Low Earth Orbit*), wynosi nieco ponad 27 tysięcy kilometrów na godzinę, co oznacza, że jedno okrążenie Ziemi przez taki obiekt trwa około godziny i trzydziestu minut. Gdyby Sputnik 1, pierwszy sztuczny satelita Ziemi, albo Jurij Gagarin, pionier podróży poza ziemską atmosferę, nie osiągnęli tej prędkości po starcie, powróciliby na powierzchnię naszej planety, zanim udałoby się im ją jednokrotnie okrążyć.

Newton udowodnił, że siła grawitacji kulistych obiektów działa tak, jakby cała ich masa kumulowała się w ich środku. Rzucając cokolwiek innej osobie, w istocie wprawiamy to coś w ruch po orbicie, tyle tylko, że trajektoria tej rzeczy przecina powierzchnię Ziemi, na której stoimy. Takim ruchem poruszał się podczas piętnastominutowego lotu Alan B. Shepard na pokładzie kapsuły Freedom 7 rakiety Mercury w 1961 roku. Dzieje się tak również za każdym razem, kiedy Tiger Woods kończy uderzenie kijem, Alex Rodriguez wykonuje *home run* albo kiedy dziecko rzuca piłkę. Wprawione w ruch obiekty wykonują w każdym z tych przypadków tak zwane loty suborbitalne. Gdyby powierzchnia Ziemi nie stała im na przeszkodzie, poruszałyby się one wokół środka naszego globu po idealnych, choć wydłużonych orbitach. I mimo że z punktu widzenia prawa grawitacji wszystkie te trajektorie należą do tej samej kategorii, dla NASA jedna z nich była wyjątkowa. Lot Sheparda był właściwie wolny od oporu powietrza, ponieważ udało mu się dotrzeć na wysokość niemalże zupełnie pozbawioną atmosfery, przez co media nadały mu niezwłocznie tytuł pierwszego amerykańskiego astronauty.

*

Po trajektoriach suborbitalnych poruszają się również pociski balistyczne. Podobnie jak granaty ręczne, rakiety balistyczne, zakreślając łuk w kierunku swego celu, po wystrzeleniu lecą tylko pod wpływem grawitacji. Przemieszczają się one z prędkością naddźwiękową i w ciągu 45 minut pokonują połowę obwodu Ziemi, a następnie spadają z szybkością tysięcy kilometrów na godzinę. Jeśli pocisk jest wystarczająco ciężki, to już samo jego uderzenie może dokonać większego zniszczenia niż eksplozja konwencjonalnej bomby, którą przenosi.

Pierwszą rakietą tego typu był pocisk V2 zaprojektowany przez zespół niemieckich naukowców pod kierunkiem Wernhera von Brauna i wykorzystany przez nazistów w czasie drugiej wojny światowej, głównie w uderzeniach na Anglię. Przypominająca nabój i wyposażona w ogromne stateczniki rakieta V2 (V od *Vergeltungswaffe* – broń odwetowa) była pierwszym obiektem wystrzelonym ponad ziemską atmosferę i zainspirowała wiele ówczesnych rysunków statków kosmicznych. Von Braun oddał się po wojnie w ręce aliantów i został przewieziony do Stanów Zjednoczonych, gdzie w 1958 roku dowodził operacją wysłania w kosmos pierwszego amerykańskiego satelity Explorer 1. Krótko potem przeniesiono go do Narodowej Agencji Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA), gdzie opracował najpotężniejszą rakietę w historii – Saturn V – dzięki której udało się spełnić wielkie amerykańskie marzenie o dotarciu na Księżyc.

Dziś setki sztucznych satelitów krążą wokół Ziemi, podczas gdy ona sama obiega Słońce. Gdy w 1543 roku Mikołaj Kopernik w swoim dziele życia *De revolutionibus* umieścił Słońce w centrum wszechświata, założył on, że zarówno Ziemia, jak i pięć znanych wówczas planet – Merkury,

Wenus, Mars, Jowisz i Saturn – poruszają się po orbitach będących idealnymi okręgami. Kopernik nie wiedział, że orbity wyjątkowo rzadko przyjmują kształt okręgu i że żadna z planet Układu Słonecznego po takiej nie krąży. Faktyczny kształt trajektorii zakreślanych przez orbitujące wokół Słońca planety został wywiedziony przez niemieckiego matematyka i astronoma Johannesa Keplera, który opublikował swoje obliczenia w 1609 roku. Pierwsze ze sformułowanych przez niego praw ruchu planet mówi, że ich orbitowanie wokół Słońca odbywa się po elipsach. Elipsa to spłaszczone koło, a miarą tego spłaszczenia jest wartość liczbowa zwana mimośrodem i oznaczana literą *e*. Dla idealnego koła mimośród wynosi zero. W miarę jak wartość *e* rośnie od zera do jednego, elipsa staje się coraz bardziej wydłużona.

Wyższa wartość mimośrodu oznacza też większe prawdopodobieństwo przecięcia innej orbity. Przybywające z daleko położonych obszarów Układu Słonecznego komety krążą po bardzo wydłużonych orbitach, natomiast orbity okołosłoneczne Ziemi i Wenus o niskim mimośrodzie najbardziej przypominają okręgi. Pluton jest „planetą” o najbardziej wydłużonej orbicie i za każdym razem, kiedy obiega Słońce, przecina orbitę Neptuna, podejrzanie przypominając tym zachowaniem kometę.

*

Ekstremalnym przykładem wydłużonej orbity jest trajektoria rozważana w słynnej koncepcji wykopania tunelu z USA do Chin. Ci z naszych współobywateli, których mocną stroną nie jest geografia, mogą się poczuć zaskoczeni faktem, że Chiny nie leżą po przeciwnej stronie globu. Tunel łączący dwa przeciwległe krańce naszej planety musi przechodzić przez jej środek, tymczasem na antypodach Stanów Zjednoczonych leży Ocean

Indyjski. Aby wyjście z tunelu nie znalazło się cztery kilometry pod powierzchnią wody, trzeba zgłębić tajniki geografii i zacząwszy w Shelby w stanie Montana, przekopać się przez środek Ziemi i tak dotrzeć do odległych Wysp Kerguelena.

A teraz czas na zabawę. Wskakujemy do tunelu! Cały czas przyspieszając, swobodnie spadalibyśmy w kierunku zawierającego płynne żelazo jądra Ziemi, gdzie natychmiastowo byśmy wyparowali ze względu na jego bardzo wysoką temperaturę. Ale pomińmy na razie ten szczegół. Śmigając przez środek Ziemi, gdzie znika siła grawitacji, zaczęlibyśmy stopniowo zwalniać, aż zupełnie zatrzymalibyśmy się na drugim końcu tunelu. Jeśli jednak nie znalazłby się tam akurat jakiś tubylec, który mógłby złapać nas za rękę, zostalibyśmy wciągnięci z powrotem do tunelu i kontynuowalibyśmy naszą przejażdżkę bez końca. Nie dość, że zazdrościliby nam wszyscy amatorzy skoków na bungee, to jeszcze zaliczylibyśmy ruch po najprawdziwszej orbicie. Podróż tam i z powrotem zajęłaby nam około półtorej godziny, czyli tyle samo, co wspomnianemu wcześniej statkowi kosmicznemu.

Mimośród niektórych orbit jest tak duży, że nigdy się nie zamykają. Przy mimośrodzie wynoszącym 1 orbity przyjmują kształt paraboli, a przy wartościach większych niż 1 stają się hiperboliczne. Żeby unaocznić sobie, jakie to kształty, wystarczy rzucić snop światła latarki na ścianę. Stożek światła uformuje na niej koło. Kiedy stopniowo zmienimy kąt padania światła i poświecimy latarką w górę, kształt na ścianie zacznie stopniowo przybierać formę coraz bardziej spłaszczonej elipsy. Kiedy zatrzymamy latarkę w pozycji pionowej, nadal widoczny na ścianie snop światła utworzy parabolę. Natomiast odchylając latarkę jeszcze bardziej, otrzymamy hiperbolę. Następnym razem, kiedy wybierzecie się pod namiot, macie gwarantowaną dobrą zabawę. Obiekty przemieszczające się po

parabolicznej lub hiperbolicznej orbicie poruszają się tak szybko, że nigdy nie powracają w to samo miejsce. Jeśli kiedykolwiek uda się odkryć kometę podróżującą po orbicie o takim kształcie, będzie wiadomo, że pochodzi ona z odległej przestrzeni międzygwiezdnej i do Układu Słonecznego przybyła z jednorazową wizytą.

*

Grawitacja w ujęciu Newtona jest siłą przyciągania dwóch obiektów we wszechświecie, bez względu na to, gdzie się znajdują, z czego są zbudowane i jakiego są rozmiaru. Prawa Newtona pozwalają między innymi określić zachowanie układu Ziemia–Księżyc w przeszłości i w przyszłości. Jednak dodanie do takiego układu trzeciego ciała, a więc trzeciego źródła grawitacji, bardzo komplikuje sprawę. Trajektorie obiektów wchodzących w skład tego specyficznego „trójkąta”, znanego lepiej pod nazwą problemu trzech ciał, są bardzo skomplikowane, a do ich śledzenia zwykle potrzebny jest komputer.

Warto w tym miejscu wspomnieć o niektórych sprytnych sposobach rozwikłania tego zagadnienia. Jeden z nich, zwany ograniczonym problemem trzech ciał, polega na uproszczeniu, w którym zakłada się, że masa trzeciego obiektu jest w porównaniu z pozostałymi dwoma zaniedbywalna, dlatego w obliczeniach można ją pominąć. Dzięki temu założeniu można dość dokładnie obliczać trajektorie wszystkich trzech ciał. I wcale przy tym nie oszukujemy. We wszechświecie jest wiele układów tego typu, na przykład Słońce, Jowisz i któryś z jego maleńkich księżyców. Innym przykładem wziętym z Układu Słonecznego może być grupa skał krążących wokół Słońca po stałych orbitach w odległości około 800 milionów kilometrów przed i za Jowiszem. To tak zwane asteroidy

trojańskie, opisane szerzej w jednym z wcześniejszych rozdziałów; każda z nich, jakby za sprawą wiązek holowniczych rodem z filmów science fiction, utrzymywana jest w miejscu przez siły grawitacji Jowisza i Słońca.

Inny szczególny przypadek problemu trzech ciał został odkryty całkiem niedawno. Dotyczy on trzech obiektów o identycznej masie, poruszających się po tym samym torze, przypominającym kształtem ósemkę. W przeciwieństwie do specyficznego rodzaju wyścigów, podczas których samochody mogą się zderzać na przecięciu dwóch owalnych torów, tu bezpieczeństwo uczestników pokazu jest zapewnione. W odróżnieniu od ogólnego problemu trzech ciał ruch odbywa się w jednej płaszczyźnie, a siły grawitacji układu równoważą się w punkcie krzyżowania się trajektorii ich ruchu. Niemniej jednak tego typu układy są tak niezwykłe i rzadkie, że wśród setek miliardów gwiazd w naszej Galaktyce nie ma chyba żadnego takiego przypadku, a w całym wszechświecie jest ich najwyżej kilka. Ósemkowa orbita trzech ciał jest zatem z astrofizycznego punktu widzenia czysto matematycznym kuriozum.

Nie licząc kilku innych grzecznych przypadków, oddziaływanie grawitacyjne pomiędzy trzema i większą liczbą obiektów zwykle prowadzi do tego, że ich trajektorie koniec końców kompletnie wariują. Można to zaobserwować w komputerowej symulacji ruchu pod wpływem grawitacji. Najpierw należy każdemu ciału nadać prędkość zależną od wartości siły przyciągania przez każde inne ciało układu, a potem przeliczyć wszystkie siły i wyznaczyć ponownie, jak będzie poruszać się każdy z obiektów. Nie jest to wcale czysto akademickie zagadnienie. Cały Układ Słoneczny jest problemem wielu ciał – asteroid, księżyców, planet i Słońca – stale oddziałujących na siebie nawzajem. Ta kwestia spędzała Newtonowi sen z powiek, ponieważ nie potrafił jej rozwiązać, dokonując tradycyjnych obliczeń na papierze. Obawiając się niestabilności Układu Słonecznego

i tego, że planety mogą rozbić się o Słońce albo zostać odrzucone daleko w przestrzeń międzygwiezdną, Newton twierdził, że od czasu do czasu konieczna jest boska interwencja.

Ponad sto lat później Pierre Simon de Laplace zaproponował rozwiązanie problemu wielu ciał Układu Słonecznego w swoim największym dziele *Traité de mécanique céleste*. Aby to uczynić, najpierw musiał jednak opracować nową technikę matematyczną zwaną metodą perturbacyjną lub rachunkiem zaburzeń. U jej podstaw leży założenie, że istnieje tylko jedno dominujące źródło grawitacji, a pozostałe, choć stale oddziałujące, mają mniejszy wkład do całości; dokładnie tak dzieje się w Układzie Słonecznym. Za pomocą opracowanej przez siebie metody Laplace wykazał, że Układ Słoneczny jest stabiliny i że nie trzeba formułować nowych praw fizyki, aby to udowodnić.

Czy Laplace rzeczywiście miał rację? Współczesne badania pokazują, że w perspektywie setek milionów lat – czyli po znacznie dłuższym czasie niż ten, który rozważał Laplace – orbity planetarne ujawnią chaotyczny charakter. Istnieje więc ryzyko, że Merkury zderzy się ze Słońcem, a Pluton wypadnie daleko poza Układ Słoneczny. Być może na początku istnienia Układu Słonecznego było w nim jeszcze wiele innych planet, które dawno temu oddaliły się w przestrzeń międzygwiezdną. I pomyśleć, że to wszystko zaczęło się od niewinnych kołowych orbit Kopernika.

*

Ciało poruszające się pod wpływem grawitacji znajduje się w stanie spadku swobodnego. Kamienie opisywane przez Newtona spadały swobodnie na powierzchnię Ziemi. Także ten z wyjątkowo dużą prędkością, który ostatecznie pozostał na orbicie okołoziemskiej – tyle że powierzchnia

naszej planety zakrzywia się pod nim dokładnie w tym samym tempie, w którym on na nią spada. Międzynarodowa Stacja Kosmiczna też spada swobodnie w kierunku Ziemi, podobnie jak Księżyc. Tak jak kamienie Newtona, wszystkie te ciała poruszają się z dużą prędkością, co zapobiega ich upadkowi i rozbiciu o powierzchnię Ziemi. Okrążenie naszej planety zajmuje wszystkim takim obiektom – statkom kosmicznym, kluczom i innym narzędziom zgubionym przez astronautów podczas spacerów kosmicznych na niskiej orbicie okołoziemskiej – około 90 minut.

Jednak im wyżej, tym bardziej wydłuża się okres obiegu wokół Ziemi. Jak wspomniałem wcześniej, 35 800 kilometrów nad powierzchnią Ziemi czas potrzebny na jej okrążenie dokładnie odpowiada jej prędkości obrotowej. Satelity umieszczone na tej wysokości są geostacjonarne, czyli wydają się wisieć nad tym samym punktem na Ziemi, co umożliwia nieprzerwaną i natychmiastową komunikację między kontynentami. Księżyc znajduje się jeszcze wyżej, bo 380 000 kilometrów ponad Ziemią; jej okrążenie zajmuje mu 27,3 dnia.

Fascynującą własnością spadku swobodnego jest stan nieważkości, panujący w każdym statku kosmicznym poruszającym się tylko pod wpływem grawitacji. Podczas spadku swobodnego wszystkie obiekty znajdujące się z nami na pokładzie doświadczają tego samego przyspieszenia. Jeśli w tych warunkach na podłodze pod naszymi stopami umieścilibyśmy wagę, ona również podlegałaby spadkowi swobodnemu i wskazywałaby zero, ponieważ nic by jej nie dociskało. To właśnie dlatego w przestrzeni kosmicznej astronauci znajdują się w stanie nieważkości.

Statek kosmiczny przestaje spadać swobodnie, kiedy zwiększa swoją prędkość, kiedy zaczyna się kręcić wokół własnej osi lub kiedy napotyka opór ziemskiej atmosfery. Astronauci zaczynają wówczas znowu odczuwać ciężar. Fani science fiction dobrze wiedzą, że wprawienie statku

kosmicznego w ruch obrotowy lub nadanie mu przyspieszenia równego przyspieszeniu ziemskiemu sprawia, że ciężar jego pasażerów zaczyna odpowiadać zwykłym wartościom wskazywanym przez wagę łazienkową. Konstruktorzy statków kosmicznych mogliby więc w zasadzie zaprojektować je w taki sposób, aby w ciągu długich, nudnych lotów można było na pokładzie symulować ziemską siłę grawitacji.

Orbitalna mechanika Newtona znalazła jeszcze jedno sprytne zastosowanie w postaci mechanizmu tak zwanej procy grawitacyjnej. Sondy wysyłane przez agencje kosmiczne często nie mają wystarczających zasobów energii, aby dotrzeć do wyznaczonego celu. Trajektorie ich lotów są więc projektowane w taki sposób, aby sondy te przelatywały w pobliżu potężnych ruchomych źródeł grawitacji, na przykład takich jak Jowisz. Zbliżając się do Jowisza i poruszając się w tym samym co on kierunku, sonda może zwiększyć swoją energię, a potem zostać wyrzucona jak piłka do peloty. Jeśli położenie planet jest wyjątkowo korzystne, sonda może powtarzać ten manewr, przelatując także w pobliżu Saturna, Urana i Neptuna, „pożyczając” za każdym razem kolejną porcję energii. A porcje te wcale nie są małe. Pojedyncza asysta grawitacyjna w okolicach Jowisza może skutkować podwojeniem prędkości sondy.

Najszybsze gwiazdy w naszej Galaktyce przelatują niedaleko supermasywnej czarnej dziury w centrum Drogi Mlecznej. Czarne dziury są jedynymi ciałami w kosmosie, które mogą sprawić, że spadająca w ich kierunku gwiazda zaczyna się poruszać z prędkością zbliżoną do prędkości światła. Jeśli trajektoria ruchu gwiazdy zboczy lekko w kierunku czarnej dziury, ale nie na tyle mocno, żeby została ona wchłonięta, gwiazda gwałtownie nabierze prędkości. Wyobraźmy sobie teraz kilka setek lub kilka tysięcy gwiazd zachowujących się w ten sposób. Taką gwiezdną choreografię można zaobserwować niemal we wszystkich centrach

galaktyk. Astrofizycy uważają, że jest to przekonujący dowód na istnienie czarnych dziur.

Najdalszy obiekt widoczny nieuzbrojonym okiem to piękna Andromeda, położona najbliżej nas galaktyka spiralna. I to właściwie jedyne dobre wiadomości na jej temat. Wszystko bowiem wskazuje na to, że jest z nami na kursie kolizyjnym. Pogrążając się coraz bardziej w grawitacyjnym chaosie wraz z Andromedą, nasza Galaktyka stanie się kiedyś kosmicznym wrakiem, składającym się z porozrzucanych tu i ówdzie gwiazd i zderzających się ze sobą obłoków gazu. Wystarczy poczekać jakieś sześć czy siedem miliardów lat.

Wówczas supermasywna czarna dziura Andromedy spotka się z naszą Galaktyką. Możecie już zacząć sprzedawać bilety na ten obłędny balistyczny balet.

13

O byciu gęstym

Kiedy byłem w piątej klasie, mój dowcipny kolega zapytał mnie kiedyś: „Co waży więcej – tona pierza czy tona ołowiu?”. Nie dałem się wtedy nabrać, ale nie zdawałem sobie sprawy, jak ważne dla życia i wszechświata okaże się zagadnienie gęstości. Gęstość danej substancji oblicza się, dzieląc jej masę przez objętość. Ale pojęcie gęstości może też dotyczyć czegoś zgoła innego: choćby atmosfery panującej w miejscu, w którym zbiorą się ludzie niepałający do siebie sympatią, lub zaludnienia, czyli średniej liczby osób zamieszkujących kilometr kwadratowy powierzchni – na przykład jakiejś egzotycznej wyspy, choćby takiej jak Manhattan.

Zakres gęstości obiektów i substancji we wszechświecie jest przeogromny. Najwyższą gęstością charakteryzują się pulsary, w których neutrony są tak ciasno upakowane, że porcja pulsarowej materii objętości naparstka ważyłaby mniej więcej tyle, ile stado 50 milionów słoni. Kiedy iluzjonista za sprawą magicznej sztuczki sprawia, że królik „rozpływa się w powietrzu”, nikt nas nie informuje, że to niewidzialne powietrze zawiera aż 10 000 000 000 000 000 000 000 000 (dziesięć kwadrylionów) atomów na metr sześcienny. W najlepszych laboratoryjnych komorach próżniowych jesteśmy w stanie obniżyć jego gęstość do około 10 000 000 000 (dziesięciu

miliardów) atomów na metr sześcienny. W przestrzeni międzyplanetarnej wartość ta spada do mniej więcej 10 000 000 (dziesięciu milionów), a w przestrzeni międzygwiezdnej – do 500 000 (pięciuset tysięcy). Na miano prawdziwej pustki zasługuje jednak obszar międzygalaktyczny, gdzie na każde dziesięć metrów sześciennych przypada ledwie kilka atomów.

Rozpiętość skali gęstości we wszechświecie sięga czterdziestu czterech rzędów wielkości. Sklasyfikowanie obiektów znajdujących się w kosmosie tylko według ich gęstości uwidacznia ich bardzo istotne cechy. Siła grawitacji przy powierzchni gęstych, skoncentrowanych ciał, takich jak czarne dziury, pulsary i białe karły, jest tak wielka, iż sprawia, że opadająca na nie materia tworzy wokół nich dyski akrecyjne. Ciekawym przykładem jest też gaz międzygwiezdny. W obrębie Drogi Mlecznej i innych galaktyk nowe gwiazdy występują zawsze w obłokach gazu o największej gęstości. Nie rozumiemy jeszcze w pełni procesu formowania się gwiazd, ale wszystko wskazuje na to, że u jego podstaw leżą zmiany gęstości zapadających się obłoków.

*

W astrofizyce, a szczególnie w planetologii, na podstawie gęstości asteroid i księżyców można określić ich skład chemiczny. Jak? Wiele substancji powszechnie występujących w Układzie Słonecznym zdecydowanie różni się od siebie gęstością. Jeśli za jednostkę odniesienia przyjmiemy gęstość wody w stanie ciekłym, to gęstość lodu, zestalonego amoniaku, metanu i dwutlenku węgla, które bardzo często wchodzą w skład komet, wynosi mniej niż jeden. Materiały skaliste, z których zbudowane są planety wewnętrzne i asteroidy, mają w tej skali gęstość od dwóch do pięciu,

a gęstość żelaza, niklu i kilku innych pierwiastków występujących we wnętrzu planet i w asteroidach wynosi powyżej ośmiu. Zakłada się, że obiekty, których średnia gęstość mieści się pomiędzy tymi wartościami, są zbudowane z mieszanki powyższych materiałów. Na temat Ziemi mamy nieco bardziej precyzyjne dane. Prędkość fal dźwiękowych przebiegających przez jej wnętrze po wstrząsach sejsmicznych zależy bezpośrednio od gęstości poszczególnych warstw – od jądra do powierzchni. Najlepsze uzyskane na tej podstawie dane wskazują, że gęstość wnętrza Ziemi wynosi 12, a w zewnętrznej warstwie skorupy spada do około 3. Średnia gęstość naszej planety wynosi około 5,5.

Gęstość to stosunek masy do objętości. Jeśli znamy lub jesteśmy w stanie wydedukować dwa z tych parametrów, z łatwością możemy wyznaczyć trzeci. Na przykład obserwacje planety 51 Pegasi b (odkrytej w pobliżu widocznej gołym okiem i przypominającej Słońce gwiazdy 51 Pegasi z gwiazdozbioru Pegaza) pozwoliły na wyznaczenie jej masy i orbity, po czym – zakładając, że składa się ona raczej z gazu niż ze skał – udało się określić jej przybliżony rozmiar.

Kiedy porównując dwa obiekty, mówimy, że jeden z nich jest cięższy, często tak naprawdę mamy na myśli ich gęstość, a nie wagę. Przytoczone wcześniej dwuznaczne pytanie o to, czy ołów waży więcej niż pierze, jest przez prawie wszystkich interpretowane jako pytanie o gęstość. Ale w niektórych wypadkach takie intuicyjne założenie wprowadza w błąd. Śmietanka jest lżejsza (mniej gęsta) niż odtłuszczone mleko, a wszystkie statki wypływające w morze – także ważący 150 000 ton liniowiec transatlantycki Queen Mary 2 – są lżejsze (mniej gęste) niż woda. Gdyby było inaczej, zarówno śmietanka, jak i statki tonęłyby w płynach, na powierzchni których się unoszą.

*

Warto w tym miejscu wspomnieć o kilku ciekawostkach dotyczących gęstości.

W polu grawitacyjnym ciepłe powietrze nie wzbija się ku górze ze względu na wyższą temperaturę, ale dlatego, że ma niższą gęstość. Analogicznie: chłodniejsze, gęstsze powietrze opada. Procesy te stanowią podstawę ruchu konwekcyjnego powietrza.

Woda w postaci stałej (powszechnie nazywana lodem) jest mniej gęsta niż woda w stanie ciekłym. Gdyby tak nie było, zimą duże jeziora i rzeki zupełnie by zamarzały, poczynając od dna, zabijając wszystkie zamieszkujące je ryby. Tymczasem ryby przeżywają chłody, bo chroni je warstwa lodu o niższej gęstości, która izoluje cieplejsze wody od mroźnego zimowego powietrza.

A skoro już mowa o martwych rybach, to te, które unoszą się brzuchem do góry na powierzchni wody w akwarium, mają chwilowo mniejszą gęstość niż ich żywe odpowiedniki.

W przeciwieństwie do innych znanych planet średnia gęstość Saturna jest niższa od gęstości wody. Oznacza to, że gdybyśmy wrzucili kawałek Saturna do wanny, unosiłby się on na powierzchni wody. Dlatego zawsze marzyłem o gumowym Saturnie zamiast tradycyjnej gumowej kaczki do zabawy w wodzie.

Jeśli nakarmimy czarną dziurę, jej horyzont zdarzeń (czyli granica, zza której nie może wydostać się światło), zwiększy się proporcjonalnie do jej masy. Oznacza to, że im większa masa czarnej dziury, tym niższa średnia gęstość wewnątrz jej horyzontu zdarzeń. Jednocześnie – jak wynika z obliczeń – wciągnięta w nią materia zapada się w punkt o niemal nieskończonej gęstości w jej centrum.

A teraz największa zagadka ze wszystkich: dlaczego nieotwarta puszka dietetycznej pepsi unosi się na wodzie, a nieotwarta puszka zwykłej pepsi idzie na dno?

*

Podwojenie liczby szklanych kulek w pudełku nie skutkuje wzrostem ich gęstości, ponieważ zwiększa się zarówno ich łączna masa, jak i objętość. Istnieją jednak substancje, dla których związek między gęstością, masą i objętością nie jest tak oczywisty. Jeśli zamiast szklanych kulek umieścilibyśmy w pudełku ptasi puch, to po podwojeniu jego ilości pióra znajdujące się najniżej zostałyby zgniecione. W ten sposób objętość nie wzrosłaby dwukrotnie, w przeciwieństwie do masy, a więc gęstość w pudełku uległaby zwiększeniu. To samo dotyczy wszystkich innych substancji ulegających ściskaniu pod wpływem własnego ciężaru. Podobnie jest z ziemską atmosferą – połowa wszystkich jej cząsteczek jest upakowana w najniższej warstwie, rozciągającej się pięć kilometrów nad powierzchnią Ziemi. Atmosfera ziemska zakłóca wyniki obserwacji astrofizycznych, dlatego aby zbierać dane, często uciekamy na wysokie górskie szczyty, pozostawiając jak największą jej część poniżej.

Atmosfera Ziemi niemal niezauważalnie przechodzi w gaz o bardzo niskiej gęstości wypełniający przestrzeń międzyplanetarną. Granica pomiędzy tymi obszarami przebiega zwykle około kilku tysięcy kilometrów ponad powierzchnią Ziemi. Zarówno wahadłowiec kosmiczny, jak i teleskop Hubble’a oraz satelity okrążające naszą planetę w odległości zaledwie kilkuset kilometrów od jej powierzchni bez okresowego wspomagania wypadałyby z orbit wskutek resztkowego oporu ziemskiej atmosfery. Podczas maksimum aktywności słonecznej (co jedenaście lat)

górna warstwa atmosfery otrzymuje dodatkową dawkę promieniowania słonecznego, co sprawia, że podgrzewa się i rozszerza. Może się wówczas rozciągnąć wzwyż o dodatkowy tysiąc kilometrów, co powoduje jeszcze szybszą destabilizację orbit satelitów.

*

Zanim zaczęto stosować komory próżniowe, powietrze uważano za substancję najbardziej przypominającą nicość. Wraz z ziemią, ogniem i wodą wchodziło ono w zestaw czterech żywiołów, z których według Arystotelesa składał się świat. Oprócz nich do tego zbioru należał jeszcze piąty element, nazywany kwintesencją, czyli piątą esencją. Nieziemska kwintesencja, uznawana za lżejszą od powietrza i bardziej eteryczną niż ogień, miała być budulcem nieba. Cóż za oryginalna koncepcja!

Rozrzedzone substancje nie są jednak wyłącznie domeną nieba. Wystarczy przyjrzeć się górnej warstwie naszej atmosfery. Na wysokości poziomu morza powietrze waży około kilograma na centymetr kwadratowy. To znaczy, że jeśli zaczynając tysiące kilometrów ponad Ziemią i kończąc na poziomie morza, wycięlibyśmy foremką do ciastek słupek atmosfery o powierzchni podstawy jednego centymetra kwadratowego, a potem umieścili go na wadze, ważyłby on jeden kilogram. Dla porównania: ważąca tyle samo kolumna wody o powierzchni podstawy jednego centymetra kwadratowego mierzy zaledwie dziesięć metrów. Taka „ciasteczkowa” kolumna powietrza ponad szczytami górskimi i na wysokości przelotowej samolotów jest krótsza, a więc i lżejsza. Na wierzchołku Mauna Kea (4205 metrów nad poziomem morza) na Hawajach, gdzie znajdują się jedne z najpotężniejszych teleskopów świata, ciśnienie atmosferyczne wynosi tylko 0,7 kilograma na centymetr

kwadratowy. Pracujący tam astrofizycy od czasu do czasu korzystają więc z butli tlenowych, żeby utrzymać pełną sprawność intelektualną.

Powyżej stu kilometrów nad poziomem morza, czyli tam, gdzie astrofizycy raczej się już osobiście nie zapuszczają, powietrze jest tak rozrzedzone, że molekuły gazu mogą się dość długo poruszać, nie zderzając się ze sobą. Jeśli w czasie między tymi zderzeniami wpadną na nie rozpędzone cząstki z zewnątrz, molekuły ulegną wzbudzeniu, po czym wyemitują charakterystyczne widmo kolorów. Gdy te rozpędzone cząstki są pochodzącymi z wiatru słonecznego elektronami lub protonami, emisje przyjmują postać falujących kurtyn świetlnych, powszechnie znanych jako zorze. Kiedy po raz pierwszy dokonano analizy widma zorzy, okazało się, że nie przypomina ono żadnego z widm obserwowanych w laboratoriach. Zagadkę świecących cząsteczek rozwikłano dopiero wówczas, kiedy udało się dowieść, że w zjawisku zorzy uczestniczą najzwyklejsze, za to wzbudzone do wyższej energii cząsteczki azotu i tlenu. Na poziomie morza zderzenia między nimi zachodzą tak szybko, że nadmiar energii zostaje pochłonięty, zanim zdążą one wyemitować swoje charakterystyczne światło.

Tajemnicze promieniowanie nie jest domeną jedynie górnej warstwy ziemskiej atmosfery. Intrygujące zjawiska widmowe zachodzą także w koronie słonecznej – pięknej, ognistej warstwie Słońca, która pozostaje widoczna nawet podczas jego całkowitego zaćmienia. Kiedy astrofizycy zauważyli w widmie tego wyjątkowo rozrzedzonego środowiska nową linię emisyjną, wyjaśniali ją początkowo obecnością nieznanego pierwiastka, który nazwali koronium. Dopiero kiedy okazało się, że korona Słońca ma temperaturę wynoszącą ponad milion stopni, zidentyfikowano go jako wysoko zjonizowane żelazo. W tym nieznanym dotąd stanie atomy żelaza

były pozbawione większości zewnętrznych elektronów, które poruszały się swobodnie w warstwie gazu.

Określenie „rozrzedzony” odnosi się zwykle do gazów, ale pozwolę je sobie pożyczyć do opisu słynnego pasa asteroid w Układzie Słonecznym. Filmy i literatura przedstawiają go zwykle jako niebezpieczne miejsce, gdzie w każdej chwili można zderzyć się czołowo z głazami wielkości budynków. W rzeczywistości całkowita masa pasa asteroid wynosi zaledwie około 4 procent masy Księżyca (którego masa to z kolei 1/81 masy Ziemi). Aby zatem zrozumieć, jak naprawdę wygląda pas asteroid, należy sobie wyobrazić obszar o szerokości 150 milionów i długości około 2,5 miliarda kilometrów z rozrzuconymi nieregularnie fragmentami skał, przy czym trzy czwarte ich masy zawiera się w czterech największych asteroidach.

*

Warkocze komet, choć wydają się niewyraźne i rozrzedzone, przewyższają gęstością otaczającą je przestrzeń międzyplanetarną o czynnik tysiąc. Ponieważ odbijają światło słoneczne i emitują absorbowaną ze Słońca energię, są wyjątkowo dobrze widoczne, szczególnie jeśli wziąć pod uwagę, że składają się praktycznie z niczego. Współczesną wiedzę na temat komet zawdzięczamy w dużej mierze Fredowi Whipple’owi z Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. Określił on kiedyś warkocz komety mianem największej rzeczy zbudowanej z odrobiny materii. Gdyby sprężyć objętość całego długiego na 80 milionów kilometrów warkocza komety do gęstości zwykłego powietrza, to obecny w nim gaz zmieściłby się w sześcianie o kilometrowej krawędzi. Kiedy na krótko przed wizytą komety Halleya w Układzie Słonecznym w 1910 roku w warkoczach komet wykryto występujący powszechnie w kosmosie, ale silnie trujący gaz –

cyjan – naiwni zaczęli kupować od farmaceutycznych szarlatanów pigułki przeciwkometne.

Materiałów o niskiej gęstości nie znajdziemy w jądrze Słońca, w którym generowana jest cała jego energia termonuklearna. Ale to tylko jeden procent jego objętości. Średnia gęstość Słońca wynosi ćwierć gęstości Ziemi, przewyższając gęstość wody ledwie o 40 procent. To oznacza, że kawałek Słońca utonąłby w wypełnionej wodą wannie, ale niezbyt szybko. Za pięć miliardów lat w wyniku fuzji jądrowej cały wodór wewnątrz Słońca zamieni się w hel, który krótko po tym ulegnie przemianie w węgiel. Słońce stanie się wówczas tysiąckrotnie jaśniejsze, a temperatura jego powierzchni w porównaniu ze stanem obecnym spadnie o połowę. Zgodnie z prawami fizyki obiekty, których temperatura spada, mogą się stawać jaśniejsze tylko wówczas, gdy się powiększają. Słońce przyjmie więc ostatecznie postać ogromnej, niezgrabnej kuli rozrzedzonego gazu, rozciągającej się poza orbitę ziemską, i całkowicie wypełni dzielącą nas od niego przestrzeń. Jednocześnie średnia gęstość Słońca spadnie poniżej jednej dziesięciomiliardowej obecnej wartości. Oczywiście atmosfera i ogół życia na Ziemi zamienią się przy okazji w parę, ale nie o tym tu mowa. Zewnętrzna atmosfera Słońca, choć rozrzedzona, zakłóci ruch Ziemi po orbicie i chcąc nie chcąc, wkroczymy na ścieżkę niepowstrzymanego spiralnego ruchu w głąb termonuklearnej otchłani.

*

Poza granicami Układu Słonecznego rozpościera się przestrzeń międzygwiezdna. Jak dotąd udało się wystrzelić cztery sondy kosmiczne o prędkości umożliwiającej dotarcie do tego obszaru. Były nimi Pioneer 10

i 11 oraz Voyager 1 i 2. Najszybsza z nich – Voyager 2 – dotrze na odległość najbliższej Słońcu gwiazdy za około 25 tysięcy lat.

Przestrzeń międzygwiezdna jest pusta, jednak znajdujące się w niej obłoki gazu o gęstości przekraczającej gęstość otoczenia od stu do tysiąca razy, podobnie jak rozrzedzone warkocze komet, ujawniają się w pobliżu bardzo jasnych gwiazd. Pierwsze analizy widmowe światła pochodzącego z tych kolorowych skupisk gazu ujawniły nieznane wcześniej cechy. Początkowo miał być za nie odpowiedzialny kolejny hipotetyczny pierwiastek – nebulium. Pod koniec XIX wieku stało się jasne, że żaden pierwiastek układu okresowego nie może odpowiadać nebulium. Dzięki coraz lepszej jakości komór próżniowych i przesłankom, że za nietypowe zjawiska widmowe odpowiedzialne są znane pierwiastki, zaczęto najpierw podejrzewać, a później potwierdzono, że nebulium to nic innego niż zwykły tlen w niezwykłej postaci. Jego atomy pozbawione były dwóch elektronów i w takiej postaci występowały w warunkach niemal idealnej próżni przestrzeni międzygwiezdnej.

Opuszczając Galaktykę, pozostawiamy za sobą niemal wszystko – gaz, pył, gwiazdy, planety i kosmiczny złom – i wkraczamy w niewyobrażalną kosmiczną otchłań. Tu dopiero jest pusto! Sześcian międzygalaktycznej przestrzeni o krawędzi długości 200 tysięcy kilometrów zawiera mniej więcej taką samą liczbę atomów co powietrze wypełniające przeciętną lodówkę. W tych obszarach wszechświat zbudowany jest głównie z próżni.

Nie wiadomo jednak, czy istnieje próżnia absolutna. Jak wiemy z wcześniejszych rozdziałów, jedno z niezwykłych założeń mechaniki kwantowej głosi, że próżnia wypełniona jest morzem wirtualnych cząstek, które pojawiają się i znikają wraz z odpowiadającymi im cząstkami antymaterii. Nazywamy je wirtualnymi, ponieważ czas ich życia jest zbyt krótki, by móc je bezpośrednio zaobserwować. Istnienie cząstek

wirtualnych, znanych lepiej jako „energia próżni”, może działać jak antygrawitacyjne ciśnienie, powodujące coraz szybsze rozszerzanie się wszechświata, a co za tym idzie – coraz większe rozrzedzanie się przestrzeni międzygalaktycznej.

A co z przestrzenią poza kosmosem, który znamy?

Niektórzy parający się metafizyką twierdzą, że poza granicami wszechświata nie ma przestrzeni, a więc nic tam nie istnieje. Nazwijmy to hipotetyczne miejsce o zerowej gęstości nicością. Ale nie zdziwmy się, jeśli znajdziemy tam wiele nieprzywołanych z powrotem królików.

14

Gdzieś ponad tęczą

Rysownicy zwykle przedstawiają biologów, chemików i inżynierów jako postaci w białych laboratoryjnych kitlach z kieszonką, z której wystaje kolekcja długopisów i ołówków. My, astrofizycy, też używamy przyborów do pisania, ale białe fartuchy zakładamy właściwie tylko wtedy, gdy budujemy coś, co chcemy wysłać w przestrzeń kosmiczną. Naszym laboratorium jest wszechświat i o ile nie jesteśmy aż tak pechowi, by uderzył w nas meteoryt, są raczej małe szanse, że nasz kitel ulegnie zwęgleniu; żrące płyny, które mogłyby nas poparzyć, też zwykle nie spadają znienacka z nieba. Ale charakter naszej pracy to również pewne wyzwanie. Jak badać coś, przy czym nie możemy się zbrudzić? W jaki sposób czerpiemy wiedzę o wszechświecie, skoro obiekty będące przedmiotem naszego zainteresowania znajdują się w odległości lat świetlnych od nas?

Całe szczęście światło emitowane przez gwiazdy dostarcza nam znacznie więcej informacji niż tylko to, gdzie się znajdują i jaką mają jasność. Atomy świecących obiektów prowadzą bardzo intensywne życie. Ich elektrony nieustannie absorbują i emitują światło. Jeśli otoczenie jest wystarczająco ciepłe, energia wyzwalana wskutek zderzeń atomów może

oderwać od nich część lub wszystkie elektrony, które rozpraszają potem światło w różnych kierunkach. W świetle, które do nas dociera, atomy pozostawiają swój unikatowy odcisk palca, dzięki czemu można zidentyfikować pierwiastki bądź cząsteczki związków chemicznych odpowiedzialnych za jego emisję lub absorpcję.

Już w 1666 roku Isaac Newton przepuścił białe światło przez pryzmat, uzyskując dobrze dziś znane widmo w siedmiu kolorach – czerwonym, pomarańczowym, żółtym, zielonym, niebieskim, granatowym i fioletowym. Jeśli macie problemy z ich zapamiętaniem, możecie się nauczyć wierszyka: „Czemu Patrzysz Żabko Zielona Na Grubego Filemona”. Inni uczeni już wcześniej eksperymentowali z pryzmatami, ale to, czego dokonał Newton, było całkowitą nowością. Przepuścił on bowiem uzyskane widmo przez kolejny pryzmat, w rezultacie uzyskując po nim taką samą białą wiązkę jak na wejściu. Dowiódł w ten sposób, że światło posiada niezwykłą właściwość, której nie da się odtworzyć na malarskiej palecie barw. Po zmieszaniu farb we wspomnianych kolorach otrzymamy bowiem odcień przypominający błoto. Newton próbował również poddać rozszczepieniu każdą z barw z osobna, ale okazało się, że nie jest to możliwe. I choć noszą one osobne nazwy, kolory widma płynnie przechodzą jeden w drugi. Ludzkie oko nie jest w stanie dokonać tego, co pryzmat, przypominając nam po raz kolejny, że wiele tajemnic wszechświata wykracza poza możliwości naszych zmysłów.

*

Dokładna analiza spektralna światła słonecznego przy użyciu precyzyjnych urządzeń optycznych i technik nieznanych w czasach Newtona wykazuje, że oprócz siedmiu wyróżnionych barw istnieją w jego widmie także wąskie

obszary pozbawione kolorów. Te linie w widmie światła odkrył w 1802 roku angielski chemik William Hyde Wollaston, który dość naiwnie, choć zdroworozsądkowo, zinterpretował je jako naturalne granice pomiędzy poszczególnymi kolorami. Obszerniejszego opracowania i interpretacji tego zjawiska dokonał niemiecki fizyk i optyk Joseph von Fraunhofer (1787–1826), który swoją działalność naukową poświęcił ilościowej analizie widm i budowie przyrządów optycznych do ich generowania. Fraunhofer uważany jest za ojca współczesnej spektroskopii, ale według mnie był on także prekursorem astrofizyki. W latach 1814–1817 rozszczepił za pomocą pryzmatu światło niektórych płomieni i zauważył, że wzór linii w ich widmach był taki sam jak w świetle Słońca. Później podobne obserwacje poczyniono także podczas analizy spektralnej wielu gwiazd, w tym jednej z najjaśniejszych na niebie – Kapelli.

W połowie XIX wieku chemicy Gustav Kirchhoff i Robert Bunsen (wynalazca palnika Bunsena, który pewnie pamiętacie z lekcji chemii) przepuścili przez pryzmat światło całego mnóstwa substancji palnych. Sklasyfikowali oni widma emisyjne znanych pierwiastków i odkryli szereg nowych, takich jak rubid czy cez. Każdy z pierwiastków pozostawiał w badanych widmach swój własny wzorzec linii – jak odciski palców na miejscu zbrodni. To przedsięwzięcie okazało się na tyle produktywne, że hel, drugi najczęściej występujący w kosmosie pierwiastek, został odkryty w widmie Słońca wcześniej niż na Ziemi. Znalazło to odzwierciedlenie w jego nazwie: hel pochodzi bowiem od słowa *helios*, czyli Słońce.

*

Szczegółowe i gruntowne wytłumaczenie, jak atomy i ich elektrony tworzą linie widmowe, nastąpiło dopiero w dobie fizyki kwantowej pół wieku

później, ale istotne było samo pojawienie się tej koncepcji. Tak jak prawo powszechnego ciążenia Newtona sprawiło, że fizyka laboratoryjna znalazła swoje miejsce w Układzie Słonecznym, tak idea Fraunhofera przeniosła w kosmos chemię laboratoryjną. Umożliwiła ona badanie składu chemicznego obiektów we wszechświecie oraz wyznaczanie temperatury i ciśnienia, w jakich generowane są ich widma spektralne.

Jednak niektórzy domorośli filozofowie głosili wówczas zgoła inne opinie. Wśród nich znajduje się taki kwiatek z *Kursu filozofii pozytywnej* z 1835 roku Auguste'a Comte'a (1798–1857):

> Jeśli chodzi o gwiazdy, to wszelkie badania, które wykraczają poza zwykłe obserwacje są (…) dla nas siłą rzeczy niedostępne. (…) Nigdy nie będziemy w stanie w żaden sposób poznać ich składu chemicznego. (…) Uważam też, że nigdy nie dowiemy się, jaka faktycznie jest średnia temperatura poszczególnych gwiazd.

Takie cytaty stanowią przestrogę, żeby dobrze przemyśleć wszystko, co ma się ukazać drukiem.

Zaledwie siedem lat później austriacki fizyk Christian Doppler opisał zjawisko znane dziś jako efekt Dopplera i polegające na zmianie częstotliwości fali emitowanej przez obiekt, który się porusza. Można sobie wyobrazić, że fale znajdujące się za takim obiektem ulegają rozciągnięciu (ich częstotliwość się zmniejsza), a przed nim – ściśnięciu (ich częstotliwość się zwiększa). Im wyższa prędkość obiektu, tym bardziej rozciągają się i ściskają fale świetlne za i przed nim. Ta prosta zależność pomiędzy prędkością i częstotliwością ma istotne konsekwencje. Jeśli znamy wyemitowaną częstotliwość, ale pomiary wskazują, że jej wartość jest inna, to różnica pomiędzy nimi pozwala wyznaczyć prędkość, z jaką obiekt zbliża się do nas lub oddala. W artykule z 1842 roku Doppler proroczo zauważa:

> Z niemal całkowitą pewnością można założyć, że dzięki temu [efektowi Dopplera] w niedalekiej przyszłości astronomowie będą mogli ustalić ruch takich gwiazd (…), dla których do tej pory dokonanie tego typu pomiarów i ustaleń było niemożliwe.

Efekt Dopplera występuje w wypadku zarówno fal dźwiękowych, jak i fal świetlnych – zresztą dotyczy on każdego rodzaju fal. (Doppler byłby pewnie zaskoczony, że jego odkrycie znalazło użytek w wykorzystujących mikrofale przenośnych radarach „suszarkach", dzięki którym policjanci z drogówki mogą skutecznie drenować portfele kierowców przekraczających dozwoloną prędkość). W roku 1845 Doppler przeprowadził eksperyment, w którym muzycy grali na poruszających się platformach kolejowych, a osoby o słuchu absolutnym zapisywały w postaci nut zmieniającą się wysokość dźwięku podczas zbliżania i oddalania się platformy od peronu.

*

Pod koniec XIX wieku, kiedy powszechnie stosowane spektrografy wspomogła technika fotografii, z astronomii wyłoniła się nowa dyscyplina – astrofizyka. Jedną z pierwszych wybitnych publikacji dotyczących tej gałęzi nauki był założony w 1895 roku periodyk „Astrophysical Journal", który do 1962 roku nosił podtytuł „Międzynarodowy przegląd spektroskopii i astronomii fizycznej" („An International Review of Spectroscopy and Astronomical Physics"). Nawet dziś niemal każdy artykuł dotyczący obserwacji wszechświata zawiera analizy widmowe lub w dużym stopniu opiera się na danych spektroskopowych zebranych przez innych.

Aby uzyskać widmo obiektu, potrzeba znacznie więcej światła niż do zrobienia mu zdjęcia. Dlatego zadaniem najpotężniejszych teleskopów na

świecie, takich jak wyposażone w zwierciadła o średnicy 10 metrów teleskopy Kecka na Hawajach, jest przede wszystkim rejestracja widm spektralnych. Krótko mówiąc: gdybyśmy nie potrafili analizować widm, nasza wiedza na temat tego, co dzieje się we wszechświecie, byłaby bardzo uboga.

Nauczanie astrofizyki to ogromne wyzwanie. Zdobywanie wiedzy o strukturze, powstawaniu i ewolucji obiektów w kosmosie polega głównie na dedukcji opartej o analizę spektralną, którą od samych obiektów badań dzieli kilka poziomów interpretacji. Można się oczywiście posiłkować analogiami i przenośniami, dzięki którym złożone, nieco abstrakcyjne koncepcje stają się bardziej zrozumiałe i namacalne. Biolodzy opisują strukturę DNA jako dwie spirale połączone ze sobą w taki sposób, że przypominają drabinkę. Wiem, jak wyglądają spirale i szczeble drabiny. Mogę sobie zatem wyobrazić kształt cząsteczki DNA. Wszystkie elementy powyższego opisu wymagają tylko jednego poziomu interpretacji i w naszej wyobraźni układają się w spójny obraz. Dzięki temu bez względu na stopień trudności omawianych zagadnień możemy dyskutować o cząsteczkach DNA.

Aby zrozumieć, skąd wiemy, z jaką prędkością oddala się od nas gwiazda, musimy natomiast pokonać pięć powiązanych ze sobą poziomów abstrakcji:

Poziom 0: Gwiazda.

Poziom 1: Obraz gwiazdy.

Poziom 2: Światło obrazu gwiazdy.

Poziom 3: Widmo światła z obrazu gwiazdy.

Poziom 4: Układy linii, którymi poprzetykane jest widmo światła z obrazu gwiazdy.

Poziom 5: Zmiany w układzie linii, którymi poprzetykane jest widmo światła z obrazu gwiazdy.

Przejście z poziomu zerowego na poziom pierwszy jest banalne i polega na zrobieniu zdjęcia aparatem fotograficznym. Ale zanim dotrzemy do poziomu piątego, słuchacze zaczynają być albo zupełnie zdezorientowani, albo już dawno smacznie śpią. Dlatego też znaczenie widm w odkryciach kosmicznych rzadko dociera do szerszego grona odbiorców. Zagadnienie to zbyt daleko odbiega od badanych obiektów, aby można było o nim mówić jasno i przekonująco.

Projektując wystawy muzeów historii naturalnej lub inne ekspozycje, na których pokazywane są rzeczywiste obiekty, wybiera się zwykle przedmioty, które można umieścić w gablotach, takie jak głazy, kości, narzędzia, skamieliny, pamiątki i tym podobne. Wszystkie te eksponaty zaliczamy do poziomu zerowego, ponieważ aby się domyślić, czym są, nie musimy czynić specjalnego intelektualnego wysiłku. Jeśli zaś mowa o wystawach astrofizycznych, to pokazanie na nich gwiazdy czy kwazaru oznaczałoby natychmiastowe puszczenie muzeum z dymem.

Dlatego większość prezentowanych na nich eksponatów pochodzi z poziomu pierwszego i ogranicza się do zdjęć, wśród których zdarzają się niesamowite i wyjątkowo piękne. Kosmiczny Teleskop Hubble’a, najbardziej znany współczesny teleskop, słynie przede wszystkim z wysokorozdzielczych kolorowych fotografii obiektów kosmicznych, które naprawdę zapierają dech w piersiach. Ale choć opuszczając taką wystawę, rozpływamy się nad pięknem wszechświata, nasza wiedza na jego temat nie staje się przez to znacząco większa. Aby rzeczywiście poznać i zrozumieć wszechświat, musimy zgłębić poziom trzeci, czwarty i piąty. Teleskop Hubble’a przyczynił się do wielu ważnych odkryć naukowych, ale media nie nagłaśniają, że nowe dane o wszechświecie nie pochodzą z pięknych

zdjęć, ale przede wszystkim z analizy widmowej. Chciałbym, abyśmy mogli się zachwycać nie tylko eksponatami z poziomu zerowego i pierwszego, ale także czerpać radość z obcowania z poziomami trzecim, czwartym i piątym, co wymaga oczywiście sporej inwestycji intelektualnej zarówno ze strony studentów, jak i (a może przede wszystkim) wykładowców.

*

Zobaczyć piękne kolorowe zdjęcie mgławicy w pasie Drogi Mlecznej, wykonane w świetle widzialnym – to jedno. Zupełnie czym innym jest dowiedzieć się z jej widma fal radiowych, że wewnątrz tego gazowego obłoku znajdują się nowo utworzone gwiazdy o bardzo dużej masie. Ta mgławica to istna wylęgarnia gwiazd.

Wiemy, że od czasu do czasu gwiazdy o dużej masie wybuchają. Możemy to zobaczyć na zdjęciach. Ale to widma tych umierających obiektów w paśmie rentgenowskim i w świetle widzialnym wskazują na występowanie w nich ciężkich pierwiastków. Wzbogacają one skład chemiczny galaktyki, a ich obecność można stwierdzić w organizmach żywych na Ziemi. To prawda, że żyjemy wśród gwiazd, ale to nie wszystko: gwiazdy żyją też w nas.

Miło jest popatrzeć na zachwycające zdjęcie galaktyki spiralnej. Ale jeszcze lepiej, kiedy na podstawie pomiaru przesunięć Dopplera w jej widmie dowiadujemy się, że obraca się z prędkością dwustu kilometrów na sekundę; to z kolei – w oparciu o prawo powszechnego ciążenia Newtona – pozwala nam wydedukować, że zawiera ona sto miliardów gwiazd. Więcej: wskutek rozszerzania się wszechświata oddala się ona od nas z prędkością jednej dziesiątej prędkości światła.

Ciekawie jest obserwować gwiazdy, których jasność i temperatura przypominają Słońce. Ale dedukowanie o istnieniu krążących wokół nich planet dzięki ultraprecyzyjnym pomiarom ruchu gwiazd z wykorzystaniem efektu Dopplera jest jeszcze ciekawsze. Do chwili obecnej skatalogowano prawie 700* takich obiektów, nie licząc planet Układu Słonecznego.

Rejestracja światła emitowanego przez kwazar z krańca wszechświata jest bardzo frapująca. Ale jego analiza widmowa to dopiero gratka! Pozwala ona wnioskować na temat struktury niewidocznej części wszechświata, przez którą podróżuje światło, ponieważ przesłaniające kwazar obłoki gazu i inne przeszkody wygryzają kawałki jego widma.

Niewielkie przesunięcie linii widmowych następuje również pod wpływem pola magnetycznego, co wynika ze zmiany struktury energetycznej atomów w polu magnetycznym; taki fakt cieszy z kolei wszystkich magnetohydrodynamików.

Dzięki Einsteinowskiej, relatywistycznej postaci wzoru na efekt Dopplera możemy na podstawie widm niezliczonych bliższych i dalszych galaktyk obliczać, z jaką prędkością rozszerza się wszechświat i spekulować na temat jego wieku, a także przyszłych losów.

Można się nawet pokusić o stwierdzenie, że dzięki spektrometrii wiemy o wszechświecie więcej niż hydrobiolodzy o dnach oceanów czy geolodzy o jądrze Ziemi. Nie ograniczamy się już do pasywnego spoglądania w niebo. Dobrze wyposażeni w narzędzia i techniki spektroskopowe współcześni astrofizycy mogą dziś „dotykać” gwiazd (nie parząc sobie palców) i poznawać je jak nigdy dotąd, stąpając twardo po Ziemi.

---

* W chwili publikowania polskiej edycji książki. Autor w oryginale pisał o 200 egzoplanetach odkrytych metodą dopplerowską (przyp. red.).

15

Okna na wszechświat

Jak wspominałem na początku tej książki, oko jest często uważane za jeden z najbardziej imponujących narządów ludzkiego ciała. Zdolność szybkiego ustawiania ostrości na bliskich i dalekich obiektach, dostosowywanie się do zmiennego natężenia światła oraz umiejętność rozróżniania kolorów to najważniejsze z jego oczywistych zalet. Wziąwszy jednak pod uwagę, jak wielu pasm promieniowania nasze oko zupełnie nie rejestruje, musielibyśmy określić nas jako praktycznie ślepych. Może zatem nieco lepszy jest nasz słuch? Jeśli chodzi o górną granicę zakresu słyszalnych dźwięków, nietoperze biją nas na głowę o cały rząd wielkości. Natomiast gdybyśmy węchem dorównywali psom, to nasz bagaż w poszukiwaniu kontrabandy mógłby na lotnisku obwąchiwać nie Burek, lecz Bartek.

Odkrycia ludzkości od zawsze były wynikiem usilnych prób przekroczenia wrodzonych granic zmysłowego poznania. Dzięki temu pragnieniu otwieramy coraz to nowe okna na wszechświat. W latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku NASA i Związek Radziecki zaczęły wysyłać na Księżyc i planety komputerowo sterowane sondy, które można w zasadzie uważać za roboty; od tego momentu stały się standardowym narzędziem badania wszechświata. Mają kilka bardzo istotnych cech, które

dają im przewagę nad astronautami – wysłanie ich w kosmos jest tańsze, mogą one przeprowadzać bardzo precyzyjne eksperymenty bez konieczności zakładania krępujących ruchy kombinezonów i nie są istotami żywymi, nie narażamy zatem nikogo na śmierć wskutek wypadku. Dopóki jednak komputery nie nauczą się symulować ludzkiej ciekawości i przebłysków geniuszu ani syntetyzować informacji i wpadać na trop nieoczekiwanych odkryć, kiedy te aż biją po oczach (a być może nawet wówczas, gdy nie są aż tak oczywiste), dopóty roboty będą tylko przyrządami odkrywającymi to, czego się już spodziewamy.

Niestety, wiele ważnych pytań dotyczących natury wszechświata może się kryć pośród tych, które jeszcze nie zostały zadane.

Nabyta przez nas umiejętność rejestrowania fal z niewidzialnych zakresów całego spektrum elektromagnetycznego była niewątpliwie najistotniejszym udoskonaleniem naszych ubogich zmysłów. Pod koniec XIX wieku niemiecki fizyk Heinrich Hertz przeprowadził eksperymenty, dzięki którym udało się koncepcyjnie połączyć w jedno różne przejawy promieniowania elektromagnetycznego uważane wcześniej za niezależne. Fale radiowe, podczerwień, światło widzialne i ultrafiolet okazały się postaciami światła różniącymi się jedynie energią. Pełne widmo, obejmujące także rodzaje promieniowania odkryte już po dokonaniach Hertza, rozciąga się od niskoenergetycznego zakresu, zwanego falami radiowymi, przez – w kierunku rosnącej energii – mikrofale, podczerwień i światło widzialne (które zawiera siedem kolorów tęczy: czerwony, pomarańczowy, żółty, zielony, niebieski, granatowy i fioletowy), aż po ultrafiolet, fale rentgenowskie i promieniowanie gamma.

Współcześni naukowcy w niczym nie ustępują Supermanowi – przynajmniej jeśli chodzi o rentgenowski wzrok. Może i Superman jest trochę silniejszy niż przeciętny astrofizyk, ale za to my jesteśmy w stanie

„widzieć” w każdym zakresie widma elektromagnetycznego. Brak tej umiejętności czyniłby z nas nie tylko ślepców, ale i ignorantów – wiele zjawisk astrofizycznych można bowiem dostrzec tylko przez niektóre okna spektralne.

*

Istnieje sporo przykładów na to, jak otwierając kolejne okna na wszechświat, możemy na niego spoglądać z różnych perspektyw. Zacznijmy od fal radiowych, których rejestrowanie wymaga zupełnie innych receptorów niż te znajdujące się w ludzkiej siatkówce.

W 1932 roku Karl Jansky, pracownik Bell Telephone Laboratories, za pomocą anteny po raz pierwszy „zobaczył” sygnały radiowe, które nie pochodziły z Ziemi, i odkrył w ten sposób centrum Drogi Mlecznej. Generowane tam fale radiowe są tak silne, że gdyby ludzkie oko było czułe tylko na ten rodzaj promieniowania, centrum Galaktyki byłoby jednym z najjaśniejszych miejsc na niebie.

Wykorzystując zmyślne urządzenia elektroniczne, zakodowane w specjalny sposób fale radiowe można przesyłać na odległość i zamieniać w dźwięki. Służąca do tego genialna aparatura to dobrze nam dziś znane radio. Wygląda więc na to, że usprawniając zmysł wzroku, udało nam się też poprawić słuch.

Każde źródło fal radiowych – a tak naprawdę każde źródło energii – może wprawiać w drgania membranę głośnika i czasem ten prosty prowadzi do nieporozumień. Kiedy okazało się, że fale radiowe emitowane są także z Saturna, astronomowie zmontowali ich odbiornik połączony z głośnikiem, aby je rejestrować; fale radiowe były więc przekształcane w słyszalne fale dźwiękowe. Jeden z dziennikarzy niezwłocznie doniósł, że z Saturna

dobiegają do Ziemi dźwięki i że są one próbą kontaktu ze strony tamtejszych form życia.

Wyposażeni w znacznie lepsze i bardziej czułe detektory fal radiowych niż Karl Jansky, możemy dziś badać nie tylko Drogę Mleczną, ale cały wszechświat. W myśl zasady „aby uwierzyć, trzeba zobaczyć” pierwsze źródła fal radiowych w kosmosie były często uważane za niewiarygodne, dopóki nie potwierdzono ich w wyniku obserwacji teleskopowych. Na szczęście większość źródeł fal radiowych emituje również pewną ilość światła widzialnego, więc uznanie ich istnienia nie opierało się tylko na ślepym zaufaniu. Później pojawiły się radioteleskopy, które przyczyniły się do odkrycia całej gamy obiektów, w tym nadal owianych tajemnicą kwazarów (skrót od angielskiego *quasi-stellar radio source*, czyli dosłownie „obiekt gwiazdopodobny emitujący fale radiowe”), które należą do jednych z najodleglejszych obiektów w kosmosie.

Zbudowane w dużej mierze z gazu galaktyki emitują fale radiowe dzięki wchodzącym w ich skład atomom wodoru (które stanowią ponad 90 procent wszystkich atomów we wszechświecie). Poprzez sieć połączonych elektronicznie radioteleskopów otrzymujemy bardzo dobrej jakości obrazy, ukazujące skomplikowane struktury gazowego wodoru w galaktyce w postaci skręceń, plam, dziur i włókien. Pod wieloma względami tworzenie map galaktyk przypomina pracę XV- i XVI-wiecznych kartografów. Ich odwzorowywanie kontynentów – nieważne jak zniekształcony był jego efekt – to chwalebny przykład szczerych wysiłków na rzecz opisania rzeczywistości pozostającej poza fizycznym zasięgiem człowieka.

*

Gdyby ludzkie oko było czułe w zakresie mikrofal, moglibyśmy zobaczyć wiązkę promieniowania z radaru policyjnego wymierzonego w nas zza krzaków, a słupy z emitującymi mikrofale telefonicznymi stacjami przekaźnikowymi emanowałyby jasną poświatą. Za to wnętrze mikrofalówki wyglądałoby dokładnie tak samo jak teraz, ponieważ siatka umieszczona w drzwiczkach odbija mikrofale do wnętrza urządzenia tak, aby nie mogły się one wydostawać na zewnątrz. Dzięki temu wnętrze naszego ciekawskiego oka nie gotuje się razem z jedzeniem, które podgrzewamy.

Teleskopy do obserwacji w zakresie mikrofal zaczęto wykorzystywać dopiero w późnych latach sześćdziesiątych zeszłego wieku. Dzięki nim możemy zaglądać w chłodne i gęste obłoki gazu międzygwiezdnego, który zapadając się, tworzy gwiazdy i planety. Obecne w nim ciężkie pierwiastki łatwo łączą się w skomplikowane cząsteczki, których promieniowanie w zakresie mikrofalowym można szybko zidentyfikować, ponieważ mają one swoje dokładne odpowiedniki na Ziemi.

Niektóre z nich są powszechnie wykorzystywane w gospodarstwie domowym, na przykład:

NH3 (amoniak)
H2O (woda)

Inne są silnie trujące:

CO (tlenek węgla)
HCN (cyjanowodór)

Jeszcze inne kojarzą się nam z pobytem w szpitalu:

H2CO (formaldehyd)

C2H5OH (alkohol etylowy)

Są jednak i takie, które nie budzą żadnych skojarzeń:

N2H+ (jon diazenylium)
CHC3CN (cyjanodiacetylen)

Do tej pory zidentyfikowano w ten sposób prawie sto trzydzieści różnych rodzajów molekuł, w tym glicynę – aminokwas, który jest podstawowym budulcem białek, a więc także znanych nam form życia.

Teleskopowym obserwacjom promieniowania mikrofalowego zawdzięczamy też bez wątpienia jedno z najdonioślejszych odkryć astrofizycznych. Tlące się pozostałości po Wielkim Wybuchu wychłodziły się obecnie do temperatury około trzech stopni w skali bezwzględnej*. (Z dalszych części tej książki dowiecie się, że najniższa możliwa temperatura w tej skali wynosi zero stopni, a zatem nie istnieje w niej temperatura ujemna. Zero bezwzględne odpowiada mniej więcej -273 stopniom Celsjusza, a temperatura pokojowa to w skali bezwzględnej 293 stopnie). W 1965 roku fizycy z Bell Telephone Laboratories – Arno Penzias i Robert Wilson – podczas nagrodzonych później Nagrodą Nobla obserwacji przypadkowo odkryli pozostałości Wielkiego Wybuchu: wszechobecny i rozlewający się we wszystkich kierunkach ocean światła, w którym dominuje promieniowanie mikrofalowe.

Odkrycie to jest chyba jednym z najbardziej niezamierzonych w historii. Penzias i Wilson chcieli zidentyfikować naziemne źródła zakłóceń w komunikacji mikrofalowej, a znaleźli przekonujące dowody na to, że wszechświat powstał w wyniku Wielkiego Wybuchu. To trochę jak złowienie płetwala błękitnego podczas zwykłej wyprawy na ryby.

*

Kolejnym pasmem widma fal elektromagnetycznych jest promieniowanie podczerwone. Jest ono niewidzialne dla oka, a przy tym najbliższe fanatykom fast foodów: frytki, zanim trafią w ich ręce, są godzinami przetrzymywane w cieple pod lampami na podczerwień. Takie lampy emitują także światło widzialne, ale ich użyteczność polega przede wszystkim na produkowaniu dużej ilości chętnie pochłanianych przez żywność, a niewidzialnych dla nas podczerwonych fotonów. Gdyby ludzka siatkówka była czuła na podczerwień, nocą po zgaszeniu świateł moglibyśmy w każdym domu dostrzec cały szereg obiektów, których temperatura jest wyższa od temperatury otoczenia, na przykład włączone lub stygnące żelazko, rozgrzany metal wokół palników kuchenek gazowych, rury z ciepłą wodą i odkryte części ciała. Taki widok nie daje nam oczywiście wiele więcej niż obserwacja w świetle dziennym, ale można sobie wyobrazić kilka praktycznych zastosowań tego zjawiska. Zimą moglibyśmy na przykład zobaczyć nieszczelności, którymi ciepło ucieka przez nasze okna lub dachy.

Kiedy byłem dzieckiem, wiedziałem, że gdybym umiał widzieć w podczerwieni, mógłbym w nocy odkryć potwory w szafie, ale tylko wtedy, gdyby były ciepłokrwiste. Jednak jak powszechnie wiadomo, najczęściej spotykane w dziecięcych sypialniach potwory to zimnokrwiści reptilianie. Nawet w podczerwieni zupełnie byśmy ich nie zauważyli, bo zlewaliby się z drzwiami i ścianami pokoju.

W poznawaniu wszechświata okno podczerwieni przydaje się do badania gęstych obłoków gazu, w których tworzą się nowe gwiazdy. Tuż po powstaniu są one często otoczone resztkami gazu i pyłu, które pochłaniają większość ich światła i wypromieniowują je w podczerwieni – w tej

sytuacji okno światła widzialnego staje się zatem niemal zupełnie bezużyteczne. Podczas gdy promieniowanie widzialne jest w większości absorbowane przez obłoki gazu w przestrzeni międzygwiezdnej, podczerwień rozchodzi się w niej, ulegając tylko małemu osłabieniu. Ma to szczególne znaczenie dla badań w płaszczyźnie Drogi Mlecznej, gdzie światło widzialne ze znajdujących się tam gwiazd jest najbardziej tłumione.

Na wykonanych w podczerwieni zdjęciach satelitarnych Ziemi można między innymi zaobserwować ruchy ciepłych prądów oceanicznych, takich jak opływający Wielką Brytanię Prąd Północnoatlantycki. Dzięki niemu Wyspy Brytyjskie nie stały się jeszcze jednym wielkim kurortem narciarskim, mimo że leżą dalej na północ niż stan Maine w USA.

Choć Słońce, którego temperatura na powierzchni wynosi około 6000 w skali bezwzględnej, emituje sporo podczerwieni, to najwięcej wypromieniowywanej przez nie energii przypada na pasmo światła widzialnego – akurat to, na które czuła jest ludzka siatkówka. Może się nad tym nigdy nie zastanawialiście, ale to właśnie dlatego nasz wzrok jest tak użyteczny za dnia. Gdyby nie to dopasowanie, moglibyśmy słusznie narzekać, że jakaś część czułości naszego oka została zmarnowana. Zwykle nie postrzegamy światła widzialnego jako czegoś, co ma zdolność przenikania, choć przecież szkło i powietrze przepuszczają je w zasadzie bez strat. Tymczasem promieniowanie ultrafioletowe jest przez zwykłe szkło pochłaniane praktycznie w całości. Gdybyśmy zatem widzieli w ultrafiolecie, nasze okna mogłyby być równie dobrze wykonane z cegły.

Gwiazdy, które są trzy- lub czterokrotnie gorętsze od Słońca, emitują ogromne ilości ultrafioletu. Całe szczęście można je dostrzec również w widzialnej części widma, więc ich odkrycie nie wymagało użycia teleskopów rejestrujących promieniowanie ultrafioletowe. Warstwa ozonu w naszej atmosferze absorbuje większość docierającego do niej

promieniowania ultrafioletowego, rentgenowskiego i gamma, dlatego szczegółowej obserwacji najgorętszych gwiazd należy dokonywać przynajmniej z wysokości orbity okołoziemskiej. Z tego względu dyscypliny zajmujące się badaniami z wykorzystaniem wysokoenergetycznych zakresów promieniowania należą do najmłodszych działów astrofizyki.

*

Można powiedzieć, że obwieszczenie nowej ery poszerzonych możliwości ludzkiego wzroku nastąpiło wraz z przyznaniem w 1901 roku pierwszej Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki. Otrzymał ją niemiecki uczony Wilhelm C. Röntgen za odkrycie promieniowania X. Zarówno ultrafiolet, jak i promieniowanie rentgenowskie wydobywają z ukrycia obiekty należące do najbardziej wyjątkowych we wszechświecie: czarne dziury. Nie emitują one światła – ich ogromne przyciąganie grawitacyjne sprawia, że nawet światło nie jest w stanie się z nich wydostać. Istnienia czarnych dziur musimy się zatem domyślać, analizując energię wypromieniowywaną przez materię bliskich im gwiazd, która opada na ich powierzchnię. Proces ten bardzo przypomina spiralny ruch wody w spłukiwanej toalecie. Tuż przed zniknięciem w otchłani czarnej dziury materia, której temperatura dwudziestokrotnie przewyższa temperaturę powierzchni Słońca, emituje głównie promienie ultrafioletowe i rentgenowskie.

Odkrycie jakiegoś obiektu lub zjawiska nie zawsze idzie w parze z wiedzą na jego temat. Czasem odkrycia są dziełem zbiegu okoliczności, jak to było w wypadku mikrofalowego promieniowania tła, ale zdarzają się i takie, które pozostają dla nas zagadką, na przykład rozbłyski gamma. Ich odkrycia dokonano dzięki znajdującym się w przestrzeni kosmicznej

teleskopom rejestrującym ten zakres promieniowania, ale zarówno przyczyna tych rozbłysków, jak i ich pochodzenie wciąż pozostają nieznane.

Jeśli rozszerzylibyśmy koncepcję postrzegania na cząstki elementarne, do naszych obserwacji moglibyśmy wykorzystać neutrina.

Wspomniane w rozdziale 9 i trudne do uchwycenia neutrino jest cząstką subatomową pojawiającą się w procesie przemiany protonu w zwykły neutron oraz pozyton – antycząstkę elektronu. Choć proces ten może się wydawać dość tajemniczy, zachodzi on w jądrze Słońca mniej więcej sto miliardów miliardów miliardów miliardów (10^{38}) razy na sekundę. Neutrina opuszczają następnie Słońce tak, jakby nic nie stało im na przeszkodzie. Odpowiednik teleskopu, który mógłby je rejestrować, pozwoliłby na oglądanie jądra Słońca i przebiegającej w nim bezustannie fuzji termojądrowej, czego nie umożliwia żaden z zakresów promieniowania elektromagnetycznego. Neutrina są jednak wyjątkowo trudne do wykrycia – w bardzo niewielkim stopniu oddziałują z materią. Skonstruowanie „teleskopu” do ich obserwacji, o ile w ogóle możliwe, jest więc kwestią bardzo odległej przyszłości.

Detekcja fal grawitacyjnych, która mogłaby otworzyć kolejne tajemnicze okno na wszechświat, pozwoliłaby natomiast na obserwację kosmicznych katastrof. Do chwili ukończenia tej książki źródła fal grawitacyjnych, zdefiniowanych przez Einsteina w 1916 roku w ramach ogólnej teorii względności jako zmarszczki czasoprzestrzeni, nie zostały jeszcze zidentyfikowane. Fizycy z Kalifornijskiego Instytutu Technicznego opracowują specjalistyczny detektor tych fal składający się z dwóch prostopadłych, tworzących literę L rur o długości czterech kilometrów każda. Panuje w nich niemal całkowita próżnia, przez którą przebiegają wiązki światła laserowego. Gdyby do takiego układu dotarła fala

grawitacyjna, długość drogi wiązki świetlnej w jednym ramieniu różniłaby się nieco od tej w drugim. Prowadzony eksperyment nosi nazwę LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory), a detektor ma być na tyle czuły, że powinien zarejestrować fale grawitacyjne powstające podczas kolizji gwiazd oddalonych od nas o sto milionów lat świetlnych. Można sobie wyobrazić, że obserwowanie zachodzących w kosmosie zjawisk grawitacyjnych, takich jak zderzenia, eksplozje i zapadanie się gwiazd, stanie się kiedyś rutynową czynnością. Może nawet uda się otworzyć to okno na tyle szeroko, że będziemy mogli zajrzeć poza nieprzepuszczalne tło promieniowania mikrofalowego i rozwikłać zagadkę początku czasu**.

---

* Inaczej skali Kelvina (przyp. red.).

** Pierwsza publikacja oryginalnego wydania tej książki miała miejsce w 2007 roku. Tymczasem 14 września 2015 roku dwa detektory LIGO (zbudowane tak, jak przedstawia to autor w niniejszym tekście) wykryły fale grawitacyjne pochodzące ze zderzenia układu dwóch czarnych dziur, do którego doszło ponad miliard lat temu. Wyniki podano do wiadomości publicznej dopiero 11 września 2016 roku ze względu na konieczność dokładnej weryfikacji danych (przyp. red.).

16

Kolory kosmosu

Na nocnym niebie widocznych jest tylko kilka obiektów, które są wystarczająco jasne, aby pobudzić w naszym oku czopki siatkówki, odpowiadające za widzenie barwne. Jest wśród nich czerwona planeta Mars oraz olbrzymie gwiazdy z gwiazdozbioru Oriona: niebieskawa Rigel w miejscu jego prawego kolana oraz czerwona Betelgeza pod jego lewą pachą. Poza tymi wyjątkami kosmos oglądany nieuzbrojonym okiem jest ciemny i pozbawiony kolorów.

Swoje prawdziwe – kolorowe – oblicze wszechświat ukazuje dopiero wtedy, gdy oglądamy go przez duże teleskopy. Obiekty emitujące światło, na przykład gwiazdy, mogą być czerwone, białe lub niebieskie, co niewątpliwie ucieszyłoby ojców założycieli Stanów Zjednoczonych. Gaz międzygwiezdny może przyjmować właściwie dowolną barwę, w zależności od tego, jakie pierwiastki zawiera i jak rejestrujemy jego obraz. Natomiast kolor gwiazd zależy od temperatury ich powierzchni. Zimne gwiazdy są czerwone, letnie – białe, a gorące – niebieskie. Bardzo gorące gwiazdy też są niebieskie, podobnie jak naprawdę rozżarzone miejsca, takie jak jądro Słońca o temperaturze piętnastu milionów stopni.

Dla astrofizyków powiedzenie, że coś jest „rozgrzane do czerwoności”, oznacza, że to dopiero początek nagrzewania. Proste, prawda?

Prawa astrofizyki i ludzka fizjologia zawarły chyba jakiś tajemny spisek przeciwko zielonym gwiazdom. A co z żółtymi? Niektóre podręczniki astronomii, wiele opowieści science fiction i niemal wszyscy przeciętni ludzie zgadzają się co do tego, że Słońce jest żółte. Tylko zawodowcy parający się fotografią twierdzą, że jest ono niebieskie. Barwoczułe klisze fotograficzne do zdjęć dziennych są zaprojektowane w oparciu o założenie, że Słońce emituje światło niebieskie. Jego symulowanie podczas wykonywania zdjęć w zamkniętych pomieszczeniach było podstawowym zadaniem lamp błyskowych starego typu. Artyści pracujący w plenerze upieraliby się z kolei, że światło słoneczne to czysta biel, pozwalająca im na idealny dobór pigmentów.

Słońce przyjmuje zdecydowanie żółtopomarańczową barwę tuż nad horyzontem podczas wschodów i zachodów. Jednak w samo południe, kiedy rozpraszanie atmosferyczne jest najmniejsze, raczej nie wydaje nam się żółte. Źródła światła o żółtej barwie sprawiają, że białe rzeczy nabierają żółtej tonacji. Gdyby tak było w wypadku Słońca, śnieg miałby żółtawy odcień wszędzie, nie tylko w pobliżu hydrantów.

*

Dla astrofizyka „chłodny” obiekt to taki, którego temperatura powierzchni wynosi od jednego do 4000 kelwinów i który świeci na czerwono. Mimo to emitujące białe światło włókna żarówki o dużej mocy rzadko nagrzewają się do temperatury wyższej niż 3000 kelwinów (ponieważ wolfram, z którego są wykonane, topi się w temperaturze 3695 kelwinów). Jasność obiektów o temperaturze niższej niż 1000 kelwinów w widzialnym zakresie

widma dramatycznie spada. Ciała niebieskie o takich temperaturach to nieudane gwiazdy, czyli tak zwane brązowe karły, choć wcale nie są one brązowe i niemal w ogóle nie emitują światła widzialnego.

Skoro już o tym mowa, warto wspomnieć, że czarne dziury również nie są czarne. Emitując niewielkie ilości światła z obrzeży horyzontu zdarzeń, powoli wyparowują. Jako pierwszy opisał ten proces Stephen Hawking. W zależności od swojej masy czarne dziury mogą emitować każdy rodzaj światła. Im są mniejsze, tym szybciej zachodzi proces ich wyparowywania, kończący się olbrzymim rozbłyskiem energii, obfitującym zarówno w promienie gamma, jak i światło widzialne.

*

Wizualizacje z różnych dziedzin nauki na potrzeby telewizji, prasy i książek przedstawiane są często przy użyciu nierzeczywistej palety kolorów. Synoptycy telewizyjni różnicują kolorami duże i małe opady deszczu. Astrofizycy, tworząc wizualizację kosmicznego obiektu, przypisują jego zakresowi jasności pewną dowolnie wybraną sekwencję kolorów. Dlatego na zdjęciach najjaśniejsze części ciał niebieskich są czasem czerwone, a najciemniejsze – niebieskie. Barwy te nie mają nic wspólnego z rzeczywistymi kolorami tych obszarów. Podobnie jak w meteorologii, kolory mogą oznaczać rozmaite cechy obiektu, na przykład skład chemiczny lub temperaturę, a nawet oddawać kierunek ruchu wirowego galaktyk spiralnych. Na przykład zbliżające się do nas obszary galaktyk są zabarwione na zdjęciach na niebiesko, a oddalające się – na czerwono. Dobór barw ma w tym wypadku odwoływać się do dobrze znanego efektu przesunięć dopplerowskich ku niebieskiemu i ku czerwieni, wynikających z ruchu źródła promieniowania.

Niektóre obszary kosmosu wypełnionego słynnym mikrofalowym promieniowaniem tła są cieplejsze niż jego średnia temperatura, a więc z oczywistych powodów muszą w nim też istnieć strefy chłodniejsze. Zakres tych temperatur wynosi około jednej stutysięcznej i aby zobrazować te minimalne różnice, na zdjęciach zaznacza się cieplejsze obszary na niebiesko, a chłodniejsze na czerwono lub odwrotnie, uzyskując w ten sposób bardzo wyraźny efekt wizualny.

Niekiedy szerokie grono odbiorców ma także okazję zobaczyć kolorowe fotografie obiektów kosmicznych wykonane w podczerwieni lub z użyciem fal radiowych, czyli pasm niewidzialnych ludzkim okiem. Aby zmienić te obrazy w kolorowe zdjęcia, trzem różnym obszarom widma przyporządkowuje się trzy różne kolory; zwykle są nimi czerwony, zielony i niebieski (w skrócie RGB od angielskich *red*, *green*, *blue*). Powstałe w ten sposób wizualizacje stwarzają iluzję postrzegania tych części widma, których w rzeczywistości nie widzimy.

Kolory mogą zatem oznaczać dla naukowców zupełnie co innego niż dla przeciętnych zjadaczy chleba. Gdy astrofizycy chcą je określić w sposób jednoznaczny, posługują się narzędziami i metodami ilościowego określania emitowanego lub odbijanego przez obiekty światła, uniezależniając się od indywidualnych gustów i skomplikowanej kwestii rozróżniania barw. Nie są to jednak metody zrozumiałe dla laika. Polegają one na wyznaczeniu, w ściśle określonych warunkach, logarytmu stosunku strumieni emitowanego światła zmierzonego po przejściu przez różne filtry, z uwzględnieniem krzywej czułości użytego detektora (mówiłem, że nie będzie łatwo). Kiedy ten stosunek maleje, na wizualizacji badany obiekt staje się niebieski, bez względu na to, jaki ma kolor w rzeczywistości.

*

O tym, jak złudna może być ludzka percepcja kolorów, przekonał się zamożny amerykański astronom i fanatyk Marsa – Percival Lowell. Na przełomie XIX i XX wieku sporządził on bardzo szczegółowe rysunki powierzchni czerwonej planety. Wymagały one wyjątkowo dokładnych obserwacji, których można dokonać wyłącznie w stabilnych warunkach atmosferycznych i przy suchym powietrzu, bo wówczas obraz planety nie ulega zbytniemu rozmyciu. W tym celu Lowell założył w 1894 roku własne obserwatorium astronomiczne na szczycie Mars Hill w pustynnej Arizonie. Bez względu na powiększenie oglądana przez teleskop, bogata w żelazo, rdzawa powierzchnia Marsa zawsze miała czerwonawy odcień. Jednak według Lowella znajdowały się na niej również zielone plamy, i to w miejscach przecinania się zaobserwowane przez niego kanałów, które szczegółowo opisał i zobrazował. Miały one być sztucznymi duktami wodnymi, doprowadzającymi wodę z czap polarnych Marsa do miast, wsi i farm zbudowanych przez inteligentnych mieszkańców planety.

Ale zostawmy fantazje naszego podglądacza obcych i wróćmy do zaobserwowanych przez niego kanałów i otaczających je obszarów zieleni. Percival uległ dwóm dobrze znanym iluzjom optycznym. Pierwszą z nich jest skłonność ludzkiego mózgu do wizualnego porządkowania zjawisk bez względu na okoliczności. Najlepszym tego przykładem są gwiazdozbiory – wynik przypadkowego zgrupowania gwiazd w układy, które na niebie chcieli widzieć ich bardzo senni obserwatorzy. Ten sam mechanizm sprawił, że w mózgu Lowella nieskorelowane ze sobą, charakterystyczne cechy powierzchni Marsa i jego atmosfery ułożyły się w pewien wielkoskalowy wzorzec.

Drugie złudzenie, którego ofiarą padł Percival Lowell, polega na tym, że szarości oglądane na żółtoczerwonym tle nabierają zielononiebieskiego tonu. Zjawisko to opisał jako pierwszy francuski chemik Michel Eugène

Chevreul w 1839 roku. Powierzchnia Marsa ma w przeważającej części kolor zgaszonej czerwieni z szarobrązowymi obszarami. Mogą się one wydawać zielononiebieskie, ponieważ nasze oko postrzega w ten sposób każdy neutralny kolor otoczony żółtopomarańczowym.

Inny ciekawy mechanizm fizjologiczny polega na tym, że mózg dokonuje zmiany balansu kolorów otoczenia, w którym się znajdujemy. Pod osłoną drzew lasu tropikalnego śnieżnobiała kartka papieru powinna nabierać zielonej tonacji, ponieważ światło, które do niej dociera, jest filtrowane przez gęstą warstwę liści. Nasz mózg wbrew warunkom otoczenia sprawia jednak, że tak oświetlony kawałek papieru nadal wydaje się nam biały.

Zjawisko to można również zaobserwować, przechodząc nocą obok ciemnego mieszkania, w którym ktoś ogląda telewizję. Kiedy telewizor jest jedynym źródłem światła w pokoju, osobie patrzącej z zewnątrz ściany wydają się niebieskie. Tymczasem mechanizm regulacji balansu bieli w ludzkim mózgu sprawia, że ci, którzy przebywają wewnątrz, zupełnie nie zauważają tego efektu. Dzięki temu pierwszym kolonizatorom Marsa pewnie nie będzie przeszkadzać dominująca czerwień otaczającego ich krajobrazu. Co ciekawe, pierwsze – dość blade – zdjęcia tej planety przesłane na Ziemię przez sondę Viking w 1976 roku były specjalnie zabarwione na głęboki odcień czerwieni, żeby zaspokoić oczekiwania mediów.

*

W połowie XX wieku w ramach projektu Palomar Observatory Sky Survey, zwanego również Palomarskim Atlasem Nieba, systematycznie fotografowano niebo ze wzgórza Palomar nieopodal San Diego

w Kalifornii. Zebrany w ten sposób materiał – zgodnie z intencją pomysłodawców – stał się podstawą późniejszych obserwacji kosmosu dla całego kolejnego pokolenia. Twórcy atlasu wykonywali zawsze dwa zdjęcia z taką samą ekspozycją na dwóch różnych czarno-białych kliszach Kodaka, z których jedna była wyjątkowo czuła na światło niebieskie, a druga – na czerwone. (Laboratoria Kodaka miały nawet specjalny oddział na potrzeby badań astronomicznych, które stymulowały ówczesne prace badawczo-rozwojowe tej firmy i popychały je do absolutnych granic.) Jeśli jakieś ciało niebieskie przyciągnęło waszą uwagę, dzięki atlasowi mogliście wstępnie ocenić kolor wysyłanego przezeń światła. Obiekty o czerwonym zabarwieniu były bardzo jasne na zdjęciach wykonanych na kliszy czułej na czerwień, ale niemal w ogóle niewidoczne na zdjęciach otrzymanych z kliszy czułej na błękit. W ten sposób uzyskiwano ważne informacje o badanych obiektach i wykorzystywano je w planowaniu ich dalszych obserwacji.

Kosmiczny Teleskop Hubble’a o średnicy zwierciadła 2,4 metra, choć wygląda skromnie w porównaniu z największymi teleskopami naziemnymi, wykonał wiele spektakularnych kolorowych zdjęć kosmosu. Najciekawsze z nich publikowane są w ramach projektu Hubble Heritage, który na dobre zapisał się już w naszej pamięci i sercach. Aby zrobić kolorową fotografię kosmosu astrofizycy muszą dokonać dość zaskakujących operacji. Co prawda wykorzystujemy takie same matryce CCD, jakie macie w swoich aparatach, tyle że my mieliśmy je do dyspozycji już dekadę wcześniej; poza tym nasze detektory są znacznie bardziej czułe. Zanim światło uformuje na matrycy obraz, przechodzi przez kilkadziesiąt różnych filtrów. Jedno kolorowe zdjęcie obiektu wymaga wykonania trzech następujących po sobie obrazów zrobionych przez czerwony, zielony i niebieski filtr szerokopasmowy, które wbrew temu, co sugerują ich nazwy, sumarycznie

obejmują cały widzialny zakres widma. Obrazy te podlegają następnie obróbce w programie imitującym procesy zachodzące w ludzkim mózgu, kiedy łączy on w jedną całość sygnały wysyłane przez fotoreceptory siatkówki wrażliwe na czerwień, zieleń i błękit. W rezultacie powstaje obraz bardzo zbliżony do tego, co bylibyśmy w stanie zobaczyć, gdyby nasza źrenica miała średnicę 2,4 metra.

Załóżmy teraz, że ze względu na kwantowy charakter atomów i cząsteczek obiekty kosmiczne emitują silne światło tylko o określonej długości fal. Jeśli wiemy o tym wcześniej i dysponujemy odpowiednio dobranymi filtrami, możemy zrezygnować z palety RGB i zawęzić obserwację tylko do konkretnych długości fal. W efekcie uzyskujemy obrazy cech strukturalnych i powierzchniowych, które w innym wypadku pozostałyby zupełnie niezauważone. Dobrym tego przykładem jest coś z naszego własnego podwórka – słynna czerwona plama na Jowiszu (w tym miejscu muszę się przyznać, że sam nigdy jej nie obserwowałem przez teleskop). Czasem jest bledsza, a czasem wyraźniejsza, ale najlepiej widać ją po wyizolowaniu światła czerwonego, pochodzącego z cząsteczek obecnych w obłokach gazu.

W pobliżu miejsc, gdzie w Galaktyce tworzą się gwiazdy, wśród rozrzedzonego gazu przestrzeni międzygwiezdnej, tlen (mylnie uważany wcześniej za nebulium) emituje światło zielone. Jeśli użyjemy odpowiednio dobranego do niego filtra, tlen ukaże się w całej swej krasie, niezakłócony przez inne źródła zielonego światła z otoczenia. Soczysta zieleń widoczna na wielu zdjęciach wykonanych teleskopem Hubble’a to właśnie światło emitowane przez tlen. Dzięki stosowaniu różnych filtrów kolorowe zdjęcia mogą pełnić funkcję chemicznego próbnika kosmosu. Świetnie się w tym sprawdza Kosmiczny Teleskop Hubble’a, dlatego galeria wykonanych za jego pomocą kolorowych obrazów nie przypomina klasycznych zdjęć tych

samych obiektów w palecie RGB, symulujących percepcję barw przez ludzkie oko.

Obecnie toczy się zacięta dyskusja, czy zdjęcia z teleskopu Hubble'a odzwierciedlają „prawdziwe" kolory. Jedno jest pewne – nie są to barwy „fałszywe". To rzeczywiste kolory światła emitowanego przez badane obiekty i w wyniku zjawisk kosmicznych. Niektórzy twierdzą, że nie przedstawiając kolorów kosmosu w taki sposób, jak odbierałoby je ludzkie oko, oszukujemy opinię publiczną. Ja jednak uważam, że gdyby nasza siatkówka umożliwiała selekcję wąskiego zakresu fal świetlnych, widzielibyśmy dokładnie to, co teleskop Hubble'a. Jednocześnie zdaję sobie sprawę, że użyte przeze mnie powyżej słowo „gdyby" ma dokładnie taki sam wydźwięk jak w zdaniu „Gdyby nasze oczy były tak duże jak teleskopy…".

Pozostaje jednak pytanie o to, jaki kolor otrzymalibyśmy po połączeniu światła widzialnego wszystkich emitujących je obiektów kosmicznych. Innymi słowy: jakiego koloru jest kosmos? Na nasze szczęście ci, którzy nie mają lepszych zajęć, znaleźli odpowiedź na to pytanie. Po ogłoszeniu, że kosmos ma zabarwienie między niebieskawozielonym a bladoturkusowym, co okazało się błędne, Karl Glazebrook i Ivan Baldry z Uniwersytetu Johna Hopkinsa ponownie dokonali obliczeń barwy wszechświata i ustalili, że jest on jasnobeżowy, czyli koloru *latte*. Te zaskakujące wyniki były efektem badań światła widzialnego ponad 200 tysięcy galaktyk zajmujących dużą i reprezentatywną objętość przestrzeni kosmicznej.

Od czasów pionierskich prac dotyczących kolorowej fotografii autorstwa XIX-wiecznego angielskiego astronoma sir Johna Herschela astrofizycy prowadzą – i wciąż będą prowadzić – nieustanne eksperymenty

z wykorzystaniem tej techniki. Często wynika z tego spore zamieszanie, ale czasem udaje nam się kolorami kosmosu zachwycić opinię publiczną.

17

Kosmiczna plazma

Lekarze i astrofizycy rzadko używają tej samej terminologii, zdarzają się jednak słowa stosowane zarówno w medycynie, jak i w astrofizyce – mózg człowieka ma dwie **półkule**, z przodu klatki piersiowej znajduje się splot **słoneczny**, a nasze oczy wyposażone są w **soczewki**. W ludzkim ciele nie ma jednak kwazarów i galaktyk. Określeń **półkula** i **soczewka** w obu dziedzinach używa się w bardzo podobnym znaczeniu, tymczasem inny wspólny dla obydwu dyscyplin termin – **plazma** – jest w w medycynie i astrofizyce rozumiany zupełnie inaczej. Transfuzja plazmy (osocza krwi) może ocalić ludzkie życie, tymczasem nawet przelotne spotkanie z noszącą tę samą nazwę świecącą kosmiczną masą o temperaturze miliona stopni sprawiłoby, że zostałby po nas zaledwie obłoczek pary.

W astrofizyce mamy wyjątkowo często do czynienia z plazmą, a jednak rzadko porusza się to zagadnienie w podręcznikach i magazynach popularnonaukowych. Powszechnie definiuje się plazmę jako czwarty stan skupienia z uwagi na cały wachlarz cech odróżniających ją od ciał stałych, cieczy i gazów. Podobnie jak gaz, plazma złożona jest ze swobodnie poruszających się cząstek, ale w przeciwieństwie do gazu może przewodzić prąd i oddziaływać z polem magnetycznym. Większość obecnych w niej

atomów została w jakiś sposób pozbawiona elektronów, a ponieważ plazma charakteryzuje się wysoką temperaturą i niską gęstością, elektrony rzadko łączą się ponownie ze swymi pierwotnymi gospodarzami. W skali makroskopowej plazma jest elektrycznie obojętna, ponieważ liczba (ujemnie naładowanych) elektronów równa jest liczbie (dodatnio naładowanych) protonów. Plazma oddziałuje jednak z polem elektrycznym i magnetycznym, a więc zachowuje się zupełnie inaczej niż idealny gaz, o którym uczyliśmy się na lekcjach chemii w szkole średniej.

*

Oddziaływanie materii z polem elektrycznym i magnetycznym praktycznie zawsze dominuje nad oddziaływaniem grawitacyjnym. Przyciąganie elektrostatyczne protonu i elektronu jest o czterdzieści rzędów wielkości silniejsze niż ich oddziaływanie grawitacyjne. Siła oddziaływania elektromagnetycznego jest na tyle duża, że niewielkim zabawkowym magnesem bez żadnego problemu można podnieść z biurka spinacz, który przecież przez cały czas pozostaje pod wpływem potężnej ziemskiej grawitacji. Może jednak bardziej przekonujący będzie inny, ciekawszy przykład. Jeśli udałoby się uwolnić wszystkie elektrony z jednego milimetra sześciennego przedniej części kadłuba promu kosmicznego i umieścić je na płycie wyrzutni, siła przyciągania między rozseparowanymi ładunkami uniemożliwiłaby jego wystrzelenie. Silniki pracowałyby na pełnych obrotach, a wahadłowiec nawet by nie drgnął. Gdyby astronauci z misji Apollo zabrali ze sobą na pokład elektrony z porcji pyłu księżycowego wielkości naparstka, pozostawiając na Księżycu atomy, do których przynależały, siła przyciągania między tak rozdzielonymi

cząstkami przewyższyłaby oddziaływanie grawitacyjne wiążące Ziemię i krążący wokół niej Księżyc.

Najbardziej znane przykłady plazmy na Ziemi to ogień, błyskawice i ślady spadających gwiazd. Plazma pojawia się także przy „kopnięciach prądem", których doznajemy, dotykając klamki u drzwi po potarciu dywanu stopami w wełnianych skarpetkach. Wyładowania elektryczne to poszarpane kolumny elektronów przemieszczających się szybko w powietrzu wskutek nagromadzenia się zbyt wielu z nich w jednym miejscu. W skali globu pioruny uderzają w Ziemię tysiące razy na godzinę. Kolumna powietrza o średnicy mniej więcej centymetra, w której propaguje się piorun, przechodzi w stan plazmy na ułamek sekundy, kiedy pod wpływem przemieszczających się elektronów następuje jej rozbłysk i wzrost temperatury do dziesiątków tysięcy stopni.

Każda spadająca gwiazda to maleńki odłamek międzyplanetarnego gruzu, który porusza się na tyle szybko, by spalić się w powietrzu i dotrzeć na Ziemię w postaci nieszkodliwego kosmicznego pyłu. Niemal dokładnie to samo dzieje się z powracającymi na Ziemię statkami kosmicznymi, kiedy wchodzą w atmosferę. Ponieważ ich pasażerowie nie chcą lądować z prędkością 29 000 kilometrów na godzinę (czyli około 9 kilometrów na sekundę), z którą poruszają się po orbicie, muszą się pozbyć nadmiarowej energii kinetycznej. Zamienia się ona w ciepło w przedniej części kadłuba, które jest natychmiast odprowadzane przez osłony termiczne. Dzięki temu astronauci nie powracają na Ziemię pod postacią pyłu jak spadające gwiazdy. Ciepło wytwarzane podczas wejścia w atmosferę jest przez kilka minut tak duże, że każda cząsteczka wokół kapsuły ulega jonizacji i astronauci zostają na chwilę odcięci barierą plazmy, przez którą nie przedostają się żadne sygnały komunikacyjne. Jest to ten moment podczas lądowania, kiedy następuje zupełna blokada informacji – statek wygląda,

jakby płonął, a centrum kontroli misji nie wie, co dzieje się w jego wnętrzu. Kontynuując lot przez atmosferę, kapsuła redukuje prędkość, temperatura wokół niej spada, a powietrze się zagęszcza, co sprawia, że stan plazmy nie może się już dłużej utrzymywać. Elektrony powracają wtedy do swoich atomów i przywrócona zostaje komunikacja.

*

Na Ziemi plazma jest zjawiskiem dość rzadkim, za to w kosmosie stanowi ponad 99,99 procent widzialnej materii. Składają się z niej wszystkie emitujące światło gwiazdy i obłoki gazu. Niemal każde zdjęcie mgławic w naszej Galaktyce wykonane Kosmicznym Teleskopem Hubble'a ukazujące kolorowe obłoki gazu to fotografia plazmy. W niektórych wypadkach na kształt i gęstość tych obłoków silnie wpływają pola magnetyczne wytwarzane przez pobliskie obiekty. Plazma może uwięzić pole magnetyczne*, które może wraz z nią ulegać wirowaniu lub innym ruchom. Ten związek plazmy i pola magnetycznego odgrywa istotną rolę w jedenastoletnim cyklu aktywności Słońca. Gaz znajdujący się w pobliżu równika słonecznego cyrkuluje nieco szybciej niż gaz na jego biegunach. Bardzo źle wpływa to na karnację Słońca. Poruszające się wraz z plazmą pole magnetyczne gwiazdy ulega rozciągnięciu i skręceniu. Plamy, rozbłyski, protuberancje i inne słoneczne niedoskonałości pojawiają się i znikają, kiedy pole magnetyczne przebija się przez powierzchnię Słońca, ciągnąc za sobą plazmę.

Wskutek całego tego zamieszania Słońce może wyrzucać w przestrzeń kosmiczną nawet milion ton naładowanych cząstek na sekundę, w tym elektrony, protony i odarte z elektronów jądra helu. Ten strumień materii, przybierający czasem postać wichury, a innym razem lekkiego zefirka,

nazywamy wiatrem słonecznym. Jest to chyba najbardziej znany rodzaj plazmy i to dzięki niemu warkocze komet nigdy nie są skierowane w stronę Słońca, bez względu na to, czy komety nadlatują, czy się od niego oddalają**. Poprzez zderzenia z cząsteczkami atmosfery ziemskiej w okolicach naszych biegunów magnetycznych wiatr słoneczny wywołuje zjawisko zorzy polarnej. Występuje ono zresztą pod jego wpływem także na wszystkich innych planetach posiadających atmosfery i silne pola magnetyczne. W zależności od temperatury i składu cząsteczkowego plazmy niektóre wolne elektrony łączą się z atomami i przeskakują w dół przez ich liczne poziomy energii, emitując w efekcie światło o ściśle określonych długościach fal. Zorze, podobnie jak rurki neonowe, jarzeniówki, a także świetliste kule plazmowe sprzedawane obok lamp law w sklepach z tandetnymi upominkami, zawdzięczają swoje piękne kolory właśnie tej szalonej zabawie elektronów.

Dzięki obserwatoriom satelitarnym możemy dziś, jak nigdy wcześniej, monitorować aktywność Słońca i informować o sile wiatru słonecznego, zupełnie jakby był to jeden z elementów prognozy pogody. Mój pierwszy wywiad dla wieczornego wydania wiadomości okazał się konsekwencją informacji o porcji plazmy ze Słońca zbliżającej się w kierunku Ziemi. Większość ludzi (a na pewno większość reporterów) obawiała się wtedy, że naszej cywilizacji grozi coś strasznego. Zapewniałem ich wtedy, że nie ma się czym martwić, bo jesteśmy chronieni przez pole magnetyczne, i zachęcałem do wybrania się na północ, by móc podziwiać wywołaną wiatrem słonecznym zorzę.

*

Rozrzedzona korona Słońca, którą podczas całkowitych zaćmień można obserwować jako płonącą aureolę wokół zarysu Księżyca, to plazma o temperaturze pięciu milionów stopni, stanowiąca zewnętrzną warstwę jego atmosfery. Ze względu na tak wysoką temperaturę korona jest głównym źródłem pochodzącego ze Słońca promieniowania rentgenowskiego. W normalnych warunkach nie jest ona jednak widoczna. Powierzchnia Słońca jest tak jasna, że w zakresie promieniowania widzialnego znacznie dominuje nad światłem emitowanym przez koronę.

W atmosferze ziemskiej istnieje warstwa, w której elektrony pod wpływem wiatru słonecznego odrywają się od atomów, tworząc plazmową powłokę zwaną jonosferą. Odbija ona fale radiowe o pewnych częstotliwościach, w tym fale długie z radiowego zakresu AM. Z uwagi na tę właściwość jonosfery fale długie mogą docierać do miejsc oddalonych od nadajnika o setki kilometrów, a fale krótkie do jeszcze odleglejszych, pokonując dzięki odbiciom dystans tysięcy kilometrów. Fale z zakresu FM i telewizyjnego mają znacznie wyższe częstotliwości; bez problemu przenikają przez jonosferę i wydostają się w przestrzeń kosmiczną z prędkością światła. Jeśli pozaziemskie cywilizacje chciałyby nas podsłuchać, mogłyby się dowiedzieć wszystkiego na temat naszych programów telewizyjnych (które niezbyt dobrze o nas świadczą), posłuchać muzyki nadawanej w radiowym pasmie FM (która raczej dobrze o nas świadczy), a przy tym żyć w błogiej nieświadomości, jeśli chodzi o politykę – temat poruszany w audycjach w pasmie AM (co zapewnia nam względne bezpieczeństwo).

Większość rodzajów plazmy jest groźna dla materii organicznej. W serialu telewizyjnym *Star Trek* jedno z najniebezpieczniejszych zajęć polegało na badaniu świecących bąbli plazmy na nieznanych planetach. Pamiętam, że osoba, na której spoczywał ten obowiązek, była zawsze

ubrana na czerwono i przy spotkaniu z plazmą ulegała unicestwieniu. Wydawałoby się, że urodzeni w XXV wieku i podróżujący po całym wszechświecie bohaterowie serialu powinni byli wiedzieć, że z plazmą należy się obchodzić ostrożnie (lub przynajmniej nie ubierać się na czerwono). Tymczasem my – ludzie XXI wieku – podchodzimy do plazmy z respektem, mimo że praktycznie nigdzie jeszcze nie byliśmy.

*

Wewnątrz reaktorów termojądrowych, gdzie plazma znajduje się w bezpiecznej odległości od nas, jądra wodoru zderzane są ze sobą z bardzo dużą prędkością, aby mogły utworzyć cięższe jądra helu. Wytwarzamy w ten sposób energię, która z powodzeniem mogłaby zaspokoić zapotrzebowanie ludzkości na prąd. Problem jednak w tym, że nie udało się nam jak dotąd uzyskać jej więcej niż tyle, ile jej włożyliśmy w sam proces. Aby atomy wodoru mogły się zderzać z wymaganą prędkością, trzeba je podgrzać do temperatury rzędu dziesiątków milionów stopni. W takich warunkach nie ma szans, by przy atomach wodoru pozostały jakiekolwiek elektrony – wszystkie zostają uwolnione i swobodnie się poruszają. W jaki zatem sposób przechować świecąca masę plazmy wodorowej o temperaturze milionów stopni? Jaki pojemnik byłby odpowiedni? Takiemu zadaniu nie podołają nawet produkty Tupperware. Potrzebne jest naczynie, które się nie stopi, nie wyparuje i nie ulegnie rozkładowi. Możemy do tego celu wykorzystać magnetyczne oddziaływanie plazmy i zaprojektować zbiornik o ściankach utworzonych z silnych pól magnetycznych, których plazma nie będzie w stanie przeniknąć. Zyski finansowe płynące z utworzenia efektywnego reaktora fuzji jądrowych zależą w dużej mierze od dobrego projektu takiego magnetycznego

pojemnika i od dogłębnego zrozumienia, w jaki sposób plazma może z nim oddziaływać.

Jedną z najbardziej egzotycznych form plazmy jest uzyskana niedawno plazma kwarkowo-gluonowa. Wytworzyli ją fizycy z Brookhaven National Laboratories, placówki z akceleratorem cząstek na Long Island w Nowym Jorku. Zamiast z pozbawionych elektronów atomów plazma kwarkowo-gluonowa składa się z elementarnych cząstek materii – kwarków o ułamkowym ładunku elektrycznym i odpowiedzialnych za ich łączenie w protony i neutrony gluonów. Ten nietypowy rodzaj plazmy przypomina stan całego wszechświata tuż po Wielkim Wybuchu. Ówczesny kosmos mógłby się zmieścić w kuli o średnicy 27 metrów, która jest częścią Rose Center for Earth and Space. Przez pierwszych 400 000 lat istnienia wszechświata każdy jego centymetr sześcienny zawierał materię w stanie plazmy.

Po upływie tego czasu kosmos wychłodził się z biliona do kilku tysięcy stopni. Jednocześnie wolne elektrony z wypełnionej plazmą przestrzeni nieustannie rozpraszały światło we wszystkich kierunkach, co przypominało jego przechodzenie przez matowe szkło lub wnętrze Słońca – obiekty bardziej półprzezroczyste niż przejrzyste. Kiedy wszechświat osiągnął temperaturę poniżej kilku tysięcy stopni, elektrony mogły się połączyć z jądrami atomowymi i utworzyć atomy wodoru i helu.

Wszechobecna plazma przestała wówczas istnieć – praktycznie każdy elektron znalazł swoją przystań. Stan ten utrzymywał się przez setki milionów lat – aż do chwili, kiedy powstały kwazary z czarnymi dziurami, które żywią się wirującym gazem. Tuż przed zapadnięciem się w czarną dziurę gaz ten emituje jonizujące promieniowanie ultrafioletowe, które propaguje się w przestrzeni kosmicznej, odrywając z pasją elektrony od napotkanych na swojej drodze atomów. Do narodzin kwazarów kosmos

jedyny raz w całej swojej historii cieszył się czasem bez plazmy. W tym okresie – nazywanym Wiekami Ciemnymi – grawitacja cichaczem grupowała materię w kule plazmy, z których powstały później gwiazdy pierwszej generacji.

---

* Zjawisko to nazywamy „wmrożeniem pola w plazmę” (przyp. red.).

** Za odchylenie warkoczy kometarnych w kierunku od Słońca odpowiada także wysyłany przez gwiazdę strumień cząstek światła – fotonów – wywierających na materię tzw. ciśnienie promieniowania. Obserwacja ta stanowi jeden z dowodów na korpuskularny charakter promieniowania elektromagnetycznego (przyp. red.).

18

Ogień i lód

Kiedy Cole Porter komponował piosenkę *Too Darn Hot* (Psiakrew, ale gorąco) do broadwayowskiego musicalu *Kiss Me, Kate* z 1948 roku, temperatura, na którą narzekał w swoim utworze, nie mogła być wyższa niż trzydzieści kilka stopni Celsjusza, co bez wątpienia wytycza górną granicę komfortowych warunków współżycia. Jeśli jednocześnie weźmiemy pod uwagę, jaki wpływ na ludzki popęd seksualny ma zimny prysznic, możemy oszacować wąski przedział temperatury, którą obnażone ludzkie ciało odczuwa jako przyjemną. Jest to w sumie około szesnastu stopni, przy czym temperatura pokojowa znajduje się mniej więcej pośrodku tego zakresu.

We wszechświecie sprawy mają się zupełnie inaczej. Co powiecie na temperaturę 100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000, czyli stu tysięcy miliardów miliardów miliardów stopni, jaka panowała we wszechświecie tuż po Wielkim Wybuchu? Cała energia, przestrzeń i materia, z której później powstały planety, petunie i profesorowie fizyki, miała wówczas postać rozszerzającej się ognistej kuli plazmy kwarkowo-gluonowej. Dopóki temperatura nie spadła o wiele miliardów stopni, w kosmosie nie mogły zaistnieć żadne znane nam obiekty.

Jak wynika z praw termodynamiki, sekundę po Wielkim Wybuchu rozszerzająca się ognista kula wychłodziła się do dziesięciu miliardów stopni i z obiektu mniejszego niż atom stała się kolosem tysiąc razy większym niż rozmiary Układu Słonecznego. Po upływie trzech minut wszechświat miał zaledwie miliard stopni i już na dobre zajął się produkcją najprostszych jąder atomowych. Rozszerzanie się jest nieodłącznym towarzyszem ochładzania – te dwa zjawiska idą w parze od początku istnienia kosmosu.

Obecnie średnia temperatura wszechświata wynosi 2,73 kelwina. Wszystkie wspomniane wyżej wartości temperatur, z wyjątkiem tych odnoszących się do ludzkiego libido, są podane w kelwinach. Skala Kelvina jest bardzo podobna do skali Celsjusza, ale nie ma w niej liczb ujemnych. Zero odpowiada w niej zeru i tyle. Aby rozwiać wszelkie wątpliwości, nazywa się je nawet zerem bezwzględnym.

Szkocki inżynier i fizyk William Thomson, znany lepiej jako lord Kelvin, w 1848 roku wprowadził koncepcję najniższej możliwej temperatury; przyjął, że wynosi zero, i określił je mianem bezwzględnego. Temperatury tej nie udało się osiągnąć w żadnym eksperymencie naukowym, zresztą nie pozwalają na to prawa fizyki. Można za to bardzo się do niej zbliżyć. W 2003 roku w laboratorium Wolfganga Ketterlego w Massachusetts Institute of Technology uzyskano temperaturę 0,0000000005 K (lub – jak powiedzieliby specjaliści od jednostek – pięćset pikokelwinów).

W przestrzeni kosmicznej rozpiętość temperatur towarzyszących różnym zjawiskom jest niezwykle szeroka. Jednym z najgorętszych miejsc we wszechświecie jest zapadające się wnętrze gwiazdy zwanej błękitnym nadolbrzymem. Tuż przed wybuchem i pojawieniem się supernowej temperatura błękitnego nadolbrzyma osiąga 100 miliardów kelwinów, co

prowadzi do dramatycznego podgrzania najbliższego mu otoczenia. Dla porównania temperatura wnętrza Słońca to zaledwie 15 milionów kelwinów.

Powierzchnie ciał niebieskich są za to znacznie chłodniejsze. Temperatura powierzchni błękitnego nadolbrzyma wynosi już tylko 25 tysięcy kelwinów – choć i tak jest na tyle wysoka, że emitowane przez niego światło ma rzecz jasna niebieską barwę. Emitujące białe światło Słońce osiąga w zewnętrznej warstwie temperaturę 6 tysięcy kelwinów – wystarczającą, by stopić i zamienić w parę wszystkie pierwiastki układu okresowego. Z kolei w temperaturze panującej na powierzchni Wenus – wynoszącej 740 kelwinów – spaleniu uległaby elektronika sterująca sondami kosmicznymi.

Znacznie poniżej tych wartości plasuje się temperatura zamarzania wody równa 273,15 kelwina. W porównaniu z 60 kelwinami panującymi na powierzchni oddalonego od Słońca o 4,5 miliarda kilometrów Neptuna brzmi to całkiem przyzwoicie. Jeden z księżyców Neptuna – Tryton – jest jednak jeszcze chłodniejszy. Jego zamarznięta azotowa powierzchnia ma temperaturę 40 kelwinów, co czyni go najzimniejszym miejscem w Układzie Słonecznym po naszej stronie Plutona.

Gdzie w tej statystyce plasują się organizmy żywe? Średnia temperatura ludzkiego ciała (czyli z grubsza 37 stopni Celsjusza) to 310 kelwinów. Najwyższa oficjalnie odnotowana temperatura na powierzchni Ziemi to 330 kelwinów (latem 1913 roku w Furnace Creek Ranch w Dolinie Śmierci w Kalifornii; w stopniach Celsjusza wynosi ona dokładnie 56,7), a najniższa to 184 kelwiny (zimą, w stacji antarktycznej Wostok w 1983 roku; w stopniach Celsjusza -89,2). Bez odpowiedniego osprzętu ludzie nie są w stanie przetrwać w tak ekstremalnych warunkach. Na Saharze padniemy ofiarą hipertermii, jeśli nie znajdziemy schronienia przed upałem,

a w Arktyce potrzebujemy tony ciepłych ubrań i stałych dostaw żywności, aby nie popaść w stan skrajnego wychłodzenia. Mimo to istnieją na Ziemi organizmy żywe zwane ekstremofilami – są wśród nich zarówno termofile (ciepłolubne), jak i kriofile (zimnolubne). Znakomicie przystosowały się one do temperatur, w których ludzie albo się smażą, albo zamarzają. W liczącej trzy miliony lat syberyjskiej zmarzlinie odkryto żywe komórki grzybów – i nie miały na sobie żadnych ubrań! Bakterie uwięzione przez 32 tysiące lat w zmarzlinie na Alasce zaczęły się poruszać w wodzie, jak tylko stopniał otaczający je lód. Różne rodzaje archeonów i bakterii świetnie funkcjonują w gorących błotach, chlupoczących gejzerach i podwodnych wulkanach.

Nawet bardziej skomplikowane organizmy mogą przetrwać w zadziwiających okolicznościach. Maleńkie bezkręgowce zwane niesporczakami potrafią wstrzymywać metabolizm w momencie wystąpienia niekorzystnych warunków środowiska. W takim stanie mogą one przeżyć kilka minut w temperaturze 424 kelwinów (151°C), a także wiele dni w temperaturze siedemdziesięciu trzech Kelwinów (czyli -200°C), co czyni je odpornymi nawet na warunki panujące na Neptunie. Może w przyszłości powinniśmy zatem zostawić astronautów, kosmonautów i taikonautów na Ziemi, a na podbój wszechświata wysłać posiadające odpowiednie predyspozycje grzyby i niesporczaki.

Często się zdarza, że temperatura i ciepło są ze sobą mylone. Ciepło to suma energii wszystkich ruchów wszystkich cząstek danej substancji. Tak się składa, że wewnątrz substancji zakres tych energii jest szeroki, ponieważ niektóre molekuły poruszają się szybciej, a inne wolniej. Temperatura jest natomiast miarą ich energii średniej. Na przykład kubek świeżo zaparzonej kawy ma wyższą temperaturę niż ogrzewany basen, ale woda w basenie utrzymuje dużo więcej ciepła niż płyn w jednym kubku

kawy. Jeśli nieodpowiedzialnie wlejemy kawę o temperaturze 93°C do basenu z wodą podgrzaną do 37°C, temperatura wody w zbiorniku nie podniesie się nagle do 130°C. Dwie osoby w łóżku wytwarzają faktycznie dwa razy więcej ciepła niż pojedyncza osoba, ale średnie temperatury ich ciał – czyli 37°C i 37°C – nie sumują się, dzięki czemu temperatura pod kołdrą nie wzrasta do 74°C.

W XVII i XVIII wieku powszechnie twierdzono, że ciepło jest związane z mechanizmem spalania. Ówcześni uczeni uważali spalanie za proces, w wyniku którego obiekty tracą podobną do ziemi substancję palną zwaną flogistonem. Spalenie drewnianego polana w kominku polegało wedle tej koncepcji na uwolnieniu zawartego w nim flogistonu, który unosił się w powietrze, a pozbawione go drewno zamieniało się w popiół.

Pod koniec XVIII wieku francuski chemik Antoine Laurent de Lavoisier teorię flogistonu zastąpił teorią cieplika. Lavoisier przyjął, że utożsamiany z ciepłem cieplik to jeden z pierwiastków. Miał on występować jako niewidoczny, pozbawiony smaku, bezwonny i nieważki fluid, który był wymieniany z otoczeniem wskutek spalania lub tarcia. Idea ciepła nie była dobrze rozumiana aż do rozkwitu rewolucji przemysłowej w XIX wieku, kiedy w ramach nowej dziedziny fizyki zwanej termodynamiką sformułowano szerszą koncepcję energii.

*

W przeciwieństwie do ciepła, które okazało się sporym pojęciowym wyzwaniem nawet dla światłych umysłów, temperatura od wieków wydaje się czymś znacznie bardziej intuicyjnym tak dla naukowców, jak i laików. Gorące obiekty mają wysoką temperaturę, zimne – niską, a termometry potwierdzają tę oczywistą zależność.

Za wynalazcę termometru uznaje się często Galileusza, ale najwcześniejszy tego typu przyrząd został najprawdopodobniej skonstruowany przez Herona z Aleksandrii już w I wieku naszej ery. Dzieło jego autorstwa zatytułowane *Pneumatica* zawiera opis termoskopu – instrumentu wskazującego różnice w objętości podgrzewanego i schładzanego gazu. Jak wiele innych tekstów antycznych, praca Herona z Aleksandrii została przełożona na łacinę w dobie renesansu. Galileusz przeczytał ją w 1594 roku i podobnie jak niektórzy inni współcześni mu uczeni, niezwłocznie zbudował lepszą wersję opisanego urządzenia. Galileusz miał zresztą w zwyczaju konstruować własne wersje ciekawych wynalazków; tak samo postąpił nieco później – po wynalezieniu teleskopu.

W termometrze najważniejsza jest skala. Od początku XVIII wieku istnieje ciekawa tradycja dobierania jednostek temperatury w taki sposób, aby powszechnie występującym zjawiskom odpowiadały liczby, które mają wiele dzielników. Skala zaproponowana przez Isaaca Newtona miała 12 jednostek, 0 odpowiadało na niej temperaturze topnienia śniegu, a 12 – temperaturze ludzkiego ciała; to dlatego, że 12 jest podzielne przez 2, 3, 4 i 6. Duński astronom Ole Rømer zaproponował z kolei skalę od 0 do 60, ponieważ 60 ma aż dziesięć dzielników: 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20 i 30. Na skali Rømera 0 oznaczało najniższą temperaturę, jaką udało mu się osiągnąć podczas eksperymentów z mieszaniną lodu, soli i wody, a 60 odpowiadało temperaturze wrzenia wody.

W 1724 roku niemiecki konstruktor Daniel Gabriel Fahrenheit (który w 1714 roku wynalazł termometr rtęciowy) opracował bardziej precyzyjną skalę, dzieląc jednostki Rømera na cztery równe części. Według nowej skali woda wrzała w temperaturze 240, a zamarzała w temperaturze 30 stopni. Natomiast temperatura ludzkiego ciała wynosiła na niej około 90 stopni. Później poprawiono ją na 96 stopni (to wartość o fenomenalnej liczbie

dzielników: 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32 i 48), a temperatura zamarzania wody podniosła się do 32 stopni. Wskutek kolejnych poprawek i procesów standaryzacyjnych pasjonaci skali Fahrenheita musieli się pogodzić z tym, że temperatura ludzkiego ciała nie jest liczbą całkowitą, a woda wrze w 212 stopniach.

Szwedzki astronom Anders Celsjusz podążył nieco innym tropem i w 1742 roku zaproponował bardziej przyjazną wartościom dziesiętnym skalę termometryczną. Temperatura zamarzania wody miała na niej 100, a jej wrzenia – 0 stopni. Nie był on zresztą pierwszym ani ostatnim astronomem zmieniającym kierunek skali. Znalazł się jednak ktoś – całkiem możliwe, że producent termometrów – kto zrobił światu przysługę i odwrócił ten porządek, dzięki czemu skala Celsjusza wygląda dziś tak, jak wygląda. Na niektórych ludzi liczba 0 działa paraliżująco i prowadzi do utraty logicznego myślenia. Kilkadziesiąt lat temu, kiedy byłem jeszcze na studiach, pojechałem podczas ferii zimowych do rodziców na północ od Nowego Jorku. Znad Kanady nadciągała tam akurat masa mroźnego powietrza. Kiedy włączyłem radio, żeby posłuchać muzyki klasycznej, fragmenty *Muzyki na wodzie* Georga Friedricha Händla były regularnie przerywane doniesieniami o gwałtownie obniżającej się temperaturze. Spiker radiowy raportował od czasu do czasu: „pięć stopni Fahrenheita”, „cztery”, „trzy”. W pewnym momencie wyraźnie zdenerwowany powiedział: „Jeśli tak dalej pójdzie, skończy się nam temperatura!”.

Aby uniknąć podobnych sytuacji obnażających problemy z liczeniem międzynarodowa społeczność naukowców używa przy określaniu temperatury skali Kelvina, w której zero znajduje się dokładnie w tym miejscu, w którym powinno, czyli na samym dole. Jakakolwiek inna jego pozycja charakteryzuje się pewną dowolnością i utrudnia komentowanie zmian temperatury na żywo.

Mierząc spadek objętości chłodzonego gazu, kilku poprzedników Kelvina ustaliło, że temperatura -273,15°C (-459,67 stopnia Fahrenheita) odpowiada najniższej możliwej energii cząsteczek jakiejkolwiek substancji. W innych eksperymentach potwierdzono, że objętość gazu w warunkach stałego ciśnienia spada do zera dokładnie w tej samej temperaturze. Ponieważ nie istnieje coś takiego jak gaz o zerowej objętości, wartość ta stała się nieosiągalną granicą skali Kelvina, którą nazywamy zerem bezwzględnym.

*

Cały kosmos zachowuje się trochę jak gaz. Jeśli sprawicie, że gaz powiększy swoją objętość, ochłodzi się. Kiedy wszechświat liczył zaledwie pół miliona lat, jego temperatura wynosiła około 3000, a obecnie spadła do poniżej 3 kelwinów. Rozszerzający się i zmierzający nieubłaganie ku termicznej zagładzie kosmos jest dziś tysiąc razy większy i chłodniejszy niż we wczesnym fazach swojego istnienia.

Na Ziemi mierzymy temperaturę, wkładając termometr do jakiegoś otworu w ciele żywego stworzenia lub doprowadzając go do kontaktu z badanym przedmiotem. Dzięki temu molekuły poruszające się wewnątrz termometru osiągają taką samą średnią energię jak cząsteczki mierzonego obiektu. Kiedy termometr nie jest akurat wetknięty w pieczone żeberka i leży sobie spokojnie, wskazywaną przez niego temperaturę określa średnia prędkość zderzających się ze sobą cząsteczek otaczającego go powietrza.

Skoro już mowa o powietrzu, warto wspomnieć, że jego temperatura w słońcu i w cieniu pobliskiego drzewa jest w zasadzie taka sama. Cień osłania nas przed energią promieni słonecznych, która w większości przechodzi przez atmosferę niepochłaniana i dociera bezpośrednio do

naszej skóry, sprawiając, że odczuwalna temperatura jest wyższa niż temperatura samego powietrza. W pustej przestrzeni wskutek braku powietrza i poruszających się cząsteczek nie możemy odczytać temperatury na termometrach. Odpowiedź na pytanie: „Jaka jest temperatura kosmosu?” jest zatem niejednoznaczna. Bez możliwości zetknięcia się z jakimkolwiek obiektem termometr może wyłącznie zarejestrować docierającą do niego energię wypromieniowywaną przez wszystkie źródła światła.

Po dziennej stronie pozbawionego atmosfery Księżyca termometr wskazałby 400 kelwinów (127°C). Ale wystarczyłoby się lekko przesunąć i w cieniu pierwszego lepszego głazu lub po nocnej stronie Księżyca temperatura spadłaby natychmiast do 40 kelwinów (-233°C). Aby przetrwać dzień na Księżycu bez kombinezonu z regulacją temperatury, trzeba by wykonywać nieustanne piruety, na zmianę smażąc się bądź marznąc – tylko po to, by utrzymać komfortową temperaturę ciała.

*

Kiedy jest bardzo zimno i chcemy zatrzymać jak najwięcej energii promieni słonecznych, zakładamy ubrania w ciemnych kolorach, a unikamy jasnych, które odbijają światło. Ta sama zasada działa w przypadku termometru w kosmosie – powinien on pochłaniać maksymalną ilość światła. Jeśli umieścimy go wówczas pomiędzy Drogą Mleczną i galaktyką Andromedy, z dala od wszelkiego promieniowania, wskaże on temperaturę 2,73 kelwina, czyli aktualną temperaturę przestrzeni kosmicznej.

Kosmologowie obecnie zgadzają się, że wszechświat będzie się rozszerzał w nieskończoność. Kiedy dwukrotnie powiększy swój rozmiar, jego temperatura spadnie o połowę, i tak dalej, i tak dalej. Po upływie trylionów lat cały obecny w kosmosie gaz utworzy gwiazdy, które następnie

wyczerpią swoją energię termojądrową. Temperatura rozszerzającego się wszechświata będzie tymczasem nieubłaganie spadać, coraz bardziej zbliżając się do wartości zera bezwzględnego.

O Autorze

Neil deGrasse Tyson jest astrofizykiem pracującym w Amerykańskim Muzeum Historii Naturalnej w Nowym Jorku, gdzie zajmuje również stanowisko kierownika Planetarium Haydena. Ukończył renomowaną Bronx High School of Science, otrzymał stopień licencjata nauk fizycznych na Uniwersytecie Harvarda i doktora astrofizyki na Uniwersytecie Columbia. Mieszka z rodziną na Manhattanie.

Bibliografia

Aristotle. (1943). *On Man in the Universe*. New York: Walter J. Black.

Aronson S., Ludlam T. (red.). (2005). *Hunting the Quark Gluon Plasma: Results from the First 3 Years at the Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)*. Upton, NY: Brookhaven National Laboratory. Formal Report: BNL-73847.

Atkinson R. (1931). *Atomic Synthesis and Stellar Energy*. „Astrophysical Journal", 73:250–95.

Aveni Anthony F. (2001). *Imperia czasu. Kalendarze, zegary i kultury*. Przeł. Paweł Machnikowski. Poznań: Zysk i S-ka Wydawnictwo.

Baldry K., Glazebrook K. (2002). *The 2dF Galaxy Redshift Survey: Constraints on Cosmic Star-Formation History from the Cosmic Spectrum*. „Astrophysical Journal", 569:582.

Barrow John D. (1988). *The World within the World*. Oxford: Clarendon Press.

Braun Werner von. (1971). *Space Frontier* [1963]. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Brewster David. (1855). *Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton*. London: T. Constable and Co.

—. (1860). *Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton*, vol. 2. Edinburgh: Edmonston.

Burbridge E. M., Burbridge G. R., Fowler W., Hoyle F. (1957). *The Synthesis of the Elements in Stars*, „Reviews of Modern Physics", 29:15.

Carlyle Thomas. (2004). *History of Frederick the Great* [1858]. Kila, MT: Kessinger Publishing.

[Central Bureau for Astronomical Telegrams] Marsden Brian (red.). (1998). Cambridge, MA: Center for Astrophysics, 11 marca.

Chaucer Geoffrey. (2004). *Geoffrey Chaucer and the Prologue to the Canterbury tales*. Oprac. Romuald Skaliński. Toruń: Publisher's Edition.

Clarke Arthur C. (1961). *A Fall of Moondust*. New York: Harcourt.

Clerke Agnes M. (1890). *The System of the Stars*. London: Longmans, Green & Co.

Comte Auguste. (1842). *Coups de la philosophie positive*, t. 2. Paris: Bailliere.

—. (1853). *The Positive Philosophy of Auguste Comte*. London: J. Chapman.

Darwin Karol. (1960). *Autobiografia i wybór listów.* Przeł. A. Iwanowska i in. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.

—. (2009). *O pochodzeniu człowieka.* Przeł. M. Ilecki. Warszawa: Jirafa Roja, 2009.

DeMorgan A. (1872). *Budget of Paradoxes*. London: Longmans Green & Co.

Doppler Christian. (1843). *On the Coloured Light of the Double Stars and Certain Other Stars of the Heavens*. Praca złożona w Royal Bohemian Society, 25 maja 1842 r. (*Abhandlungen der Königlich Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften).* Prague, 2:465.

Eddington Sir Arthur Stanley. (1920). „Nature", 106:14.

—. (1926). *The Internal Constitution of the Stars*. Oxford, UK: Oxford Press.

Einstein Albert. (1952). *The Principle of Relativity* [1923]. New York: Dover Publications.

—. (1954). Letter to David Bohm. February 10. Einstein Archive 8-041.

Faraday Michael. (1855). *Experimental Researches in Electricity*. London: Taylor.

Ferguson James. (1757). *Astronomy Explained on Sir Isaac Newton's Principles*, wyd. II. London: Globe.

Feynman Richard. (1968). *What Is Science*. „The Physics Teacher" 7, nr 6: 313–20.

—. (2000). *Charakter praw fizycznych*. Przeł. Piotr Amsterdamski. Warszawa: Prószyński i S-ka.

Forbes George. (1909). *History of Astronom*y. London: Watts & Co.

Frank Philipp. (2002). *Einstein, His Life and Times* [1947]. Przeł. George Rosen. New York: Da Capo Press.

Fraunhofer Joseph von. (1898). *Prismatic and Diffraction Spectra*. Przeł. J.S. Ames. New York: Harper & Brothers.

Galen. (1916). *On the Natural Faculties*. Przeł. J. Brock. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Galilei Galileo. (1744). *Opera*. Padova: Nella Stamperia.

—. (1954). *Dialogues Concerning Two New Sciences*. New York: Dover Publications.

—. (1957). *Discoveries and Opinions of Galileo*. Przeł. Stillman Drake. New York: Doubleday Anchor Books.

—. (1989). *Sidereus Nuncius* [1610]. Przeł. Albert van Helden. Chicago: University of Chicago Press.

Gehrels Tom (red.). (1994). *Hazards Due to Comets and Asteroids*. Tucson: University of Arizona Press.

Gillet J.A., Rolfe W.J. (1882). *The Heavens Above*. New York: Potter Ainsworth & Co.

Gleick James. (1999). *Einstein*. „Time", 31 grudnia.

Gregory Richard. (1923). *The Vault of Heaven*. London: Methuen & Co.

Hassan Z., Lui (red.). (1984). *Ideas and Realities: Selected Essays of Abdus Salaam*. Hackensack, NJ: World Scientific.

Heron of Alexandria. *Pneumatica* [ok. 60 r.].

Hertz Heinrich. (1900). *Electric Waves*. London: Macmillan and Co.

Hubble Edwin P. (1936). *Realm of the Nebulae*. New Haven, CT: Yale University Press.

—. (1954). *The Nature of Science*. San Marino, CA: Huntington Library.

Hubble Heritage Team. *Hubble Heritage Images*. http://heritage.stsci.edu.

Huygens Christiaan. (1659). *Systema Saturnium (Latin)*. Hagae-Comitis: Adriani Vlacq.

—. (1698). [*Cosmotheros*]. *The Celestial Worlds Discover'd*. London: Timothy Childe.

Impey Chris, Hartmann William K. (2000). *The Universe Revealed*. New York: Brooks Cole.

Johnson David. (1991). *V-1, V-2: Hitler's Vengeance on London*. London: Scarborough House.

Kant Immanuel. (1969). *Universal Natural History and Theory of the Heavens* [1755]. Ann Arbor: University of Michigan.

Kapteyn J.C. (1909). *On the Absorption of Light in Space*. Przedruk artykułu z: „Mt. Wilson Solar Observatory", nr 42, „Astrophysical Journal", Chicago: University of Chicago Press.

Kelvin Lord. (1901). *Nineteenth Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light*. „London Philosophical Magazine and Journal of Science" 2, Seria 6, s. 1. Newcastle, UK: Literary and Philosophical Society.

—. (1904), *Baltimore Lectures*. Cambridge, UK: C.J. Clay and Sons.

Kepler Johannes. (1992). *Astronomia Nova* [1609]. Przeł. W.H. Donahue. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

—. (1997). *The Harmonies of the World* [1619]. Przeł. Juliet Field. Philadelphia: American Philosophical Society.

Kipling Rudyard. (1899). *From Sea to Sea* [wywiad z Markiem Twainem]. New York: Doubleday & McClure Company.

Kopernik Mikołaj. (1854). *De revolutionibus orbium coelestium libri sex…* Varsaviae: Typis Stanislai Strąbski.

Lang K.R., Gingerich O. (red.). (1979). *A Source Book in Astronomy & Astrophysics*, Cambridge: Harvard University Press.

Laplace Pierre-Simon. (1995). *Philosophical Essays on Probability* [1814]. New York: Springer Verlag.

Larson Edward J., Witham Larry. (1998). *Leading Scientists Still Reject God*. „Nature", 394:313.

Lathem Edward Connery (red.). (1969). *The Poetry of Robert Frost: The Collected Poems, Complete and Unabridged*. New York: Henry Holt and Co.

Lewis John L. (1997), *Physics & Chemistry of the Solar System*. Burlington, MA: Academic Press.

Loomis Elias. (1860). *An Introduction to Practical Astronomy*. New York: Harper & Brothers.

Lowell Percival. (1895). *Mars*. Cambridge, MA: Riverside Press.

—. (1906). *Mars and Its Canals*. New York: Macmillan and Co.

—. (1909). *Mars as the Abode of Life*. New York: Macmillan and Co.

—. (1909). *The Evolution of Worlds*. New York: Macmillan and Co.

Lyapunov A.M. (1892). *The General Problem of the Stability of Motion*. Praca doktorska. Uniwersytet Moskiewski.

Mandelbrot Benoit. (1977). *Fractals: Form, Chance, and Dimension*. New York: W.H. Freeman & Co.

Maxwell James Clerke. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Oxford, UK: Oxford University Press.

McKay D.S. et al. (1996). *Search for Past Life on Mars*. „Science" 273, nr 5277.

Michelson Albert A. (1894). Przemowa podczas otwarcia Ryerson Physics Lab, University of Chicago.

Michelson Albert A., Morley Edward W. (1887). *On the Relative Motion of Earth and the Luminiferous Aether*. „London Philosophical Magazine and Journal of Science" 24, Seria 5. Newcastle, UK: Literary and Philosophical Society.

Morrison David. (1992). *The Spaceguard Survey: Protecting the Earth from Cosmic Impacts*. „Mercury" 21, nr 3:103.

Nasr Seyyed Hossein. (1976). *Islamic Science: An Illustrated Study*. Kent: World of Islam Festival Publishing Co.

Newcomb Simon. (1888). „Sidereal Messenger", 7:65.

—. (1903). *The Reminiscences of an Astronomer*. Boston: Houghton Mifflin Co.

Newton Isaac. (1706). *Optice*, wyd. II, łacińskie. London: Sam Smith & Benjamin Walford.

—. (1726). *Principia Mathematica*, wyd. III, łacińskie. London: William & John Innys.

—. (1728). *Chronologies*. London: Pater-noster Row.

—. (1730). *Optiks*, wyd. IV. London: Westend of St. Pauls.

—. (1733). *The Prophesies of Daniel*. London: Paternoster Row.

—. (1958). *Papers and Letters on Natural Philosophy*. Red. Bernard Cohen. Cambridge, MA: Harvard University Press.

—. (1962). *Principia Vol. II*: *The System of the World* [1687]. Berkeley: University of California Press.

—. (1992). *Principia Mathematica*, wyd. angielskie [1729]. Norwalk, CT: Easton Press.

Norris Christopher. (1991). *Deconstruction: Theory & Practice*. New York: Routledge.

O'Neill Gerard K. (1976). *The High Frontier: Human Colonies in Space*. New York: William Morrow & Co.

Pismo Święte Starego i Nowego Testamentu. Biblia Tysiąclecia, wyd. V. (1999). Poznań: Wydawnictwo Pallottinum.

Planck Max. (1931). *The Universe in the Light of Modern Physics*. London: Allen & Unwin Ltd.

—. (1950). *A Scientific Autobiography*, wyd. angielskie. London: Williams & Norgate, Ltd.

[Planck, Max]. (1996). Cytaty Friedricha Katschera. [W:] *The Endless Frontier*. „Scientific American", luty, s. 10.

Ptolemy Claudius. (1551). *Almagest* [ok. 150 r]. Basilieae, Basel.

Salaam Abdus. (1987). The Future of Science in Islamic Countries. Przemowa podczas Fifth Islamic Summit w Kuwejcie, http://www.alislam.org/library/salam-2.

Schwippell J. (1992). *Christian Doppler and the Royal Bohemian Society of Sciences*. [W:] *The Phenomenon of Doppler*. Prague.

Sciama Dennis. (1975). *Kosmologia współczesna*. Przeł. Marcin Kubiak. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.

Shamos Morris H. (red). (1959). *Great Experiments in Physics*. New York: Dover.

Shapley Harlow, Curtis Heber D. (1921). *The Scale of the Universe*. Washington, DC: National Academy of Sciences.

Singer Dorothea Waley. (1950). *Giordano Bruno* (zawiera *De l'infinito universo et mondi* [1584]). New York: Schuman.

Sobel Dava. (1998). *W poszukiwaniu długości geograficznej: prawdziwa historia samotnego geniusza, który rozwiązał największy naukowy problem swoich czasów*. Przeł. Jacek Bieroń. Poznań: Zysk i S-ka Wydawnictwo.

Sullivan W.T. III, Cohen B.J. (red). (1999). *Preserving the Astronomical Sky*. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific.

Taylor Jane. (1925). *Prose and Poetry*. London: H. Milford.

Tipler Frank J. (1997). *The Physics of Immortality*. New York: Anchor.

Tucson City Council. (1994). *Tucson/Pima County Outdoor Lighting Code*. Rozporządzenie Nr 8210. Tucson, AZ: International Dark Sky Association.

Twain Mark. (1935). *Mark Twain's Notebook*.

Vaucouleurs Gerard de. (1983). Osobiste rozmowy.

Venturi C.G. (red.). (1818). *Memoire e Lettere*, t. 1. Modena: G. Vincenzi.

Wells David A. (red.). (1852). *Annual of Scientific Discovery*. Boston: Gould and Lincoln.

White Andrew Dickerson. (1993). *A History of the Warfare of Science with Theology in Christendom* [1896]. Buffalo, NY: Prometheus Books.

Wilford J. N. (1999). *Rarely Bested Astronomers Are Stumped by a Tiny Light*. „The New York Times", 17 sierpnia.

Wright Thomas. (1750). *An Original Theory of the Universe*. London: H. Chapelle.

POLECAMY!

Wielki bestseller – nie tylko w USA, ale także w Polsce. Znakomite wprowadzenie do astrofizyki w pasjonującym ujęciu Neila deGrasse'a Tysona.

Kontynuacja *Kosmicznych zachwytów* – wciągające opowieści o odkrywaniu kosmosu, jego zagadkach i tajemnicach. W przygotowaniu.